

BIOS2

Solu ja perinnöllisyys

Päivi Happonen

Mervi Holopainen

Panu Sotkas

Antero Tenhunen

Marja Tihtarinen-Ulmanen

Juha Venäläinen

Sanoma Pro Oy
Helsinki

Tiedustelut

Sanoma Pro Oy, Helsinki
puh. 020 391 000
sähköposti: asiakaspalvelu@sanomapro.fi

www.sanomapro.fi

Kustantaja: Sanoma Pro Oy
4.–11. painos, 2014

Tämä aineisto on digitaalinen
rinnakkaisversio tuotteesta
ISBN 978-952-63-1350-4
BIOS 2. Solu ja perinnöllisyys.

6 kk lisenssi
ISBN 978-952-63-3005-1

48 kk lisenssi
ISBN 978-952-63-3006-8

Toimitus: Johanna Kainu
Ulkoasu: Liisa Holm
Taitto: Liisa Holm
Kuvitus: Maija Raitanen,
Pekka Könönen / Picman Oy,
Kauko Kyöstiö / Spatio Oy
Kuvatoimitus: Anita Kokkila

Kuva- ja piirrosoikeudet kirjan lopussa.

© Päivi Happonen, Mervi Holopainen,
Antero Tenhunen, Panu Sotkas,
Marja Tihtarinen-Ulmanen, Juha Venäläinen
ja Sanoma Pro Oy

Kopiointiehdot

Tämä teos on oppikirja, joka on suojattu
tekijänoikeuslailla (404/61).

Tämän teoksen tai sen osan valokopiointi,
skannaaminen tai muu digitaalinen kopiointi tai
käyttö edellyttää oikeudenomistajan luvan.

Kopiosto ry myöntää teosten osittaiseen kopiointiin
lupia. Tarkistakaa, mitkä valokopiointi- ja digiluvat
ovat kohdallanne voimassa. Lisätietoja luvista
www.kopiosto.fi

Teoksen tai sen osan muuntelu on kielletty.

Näin käytät tätä kirjaa

BIOS 2. Solu ja perinnöllisyys on uuden
opetussuunnitelman perusteiden mukainen
oppikirja lukion toiselle biologian kurssille.



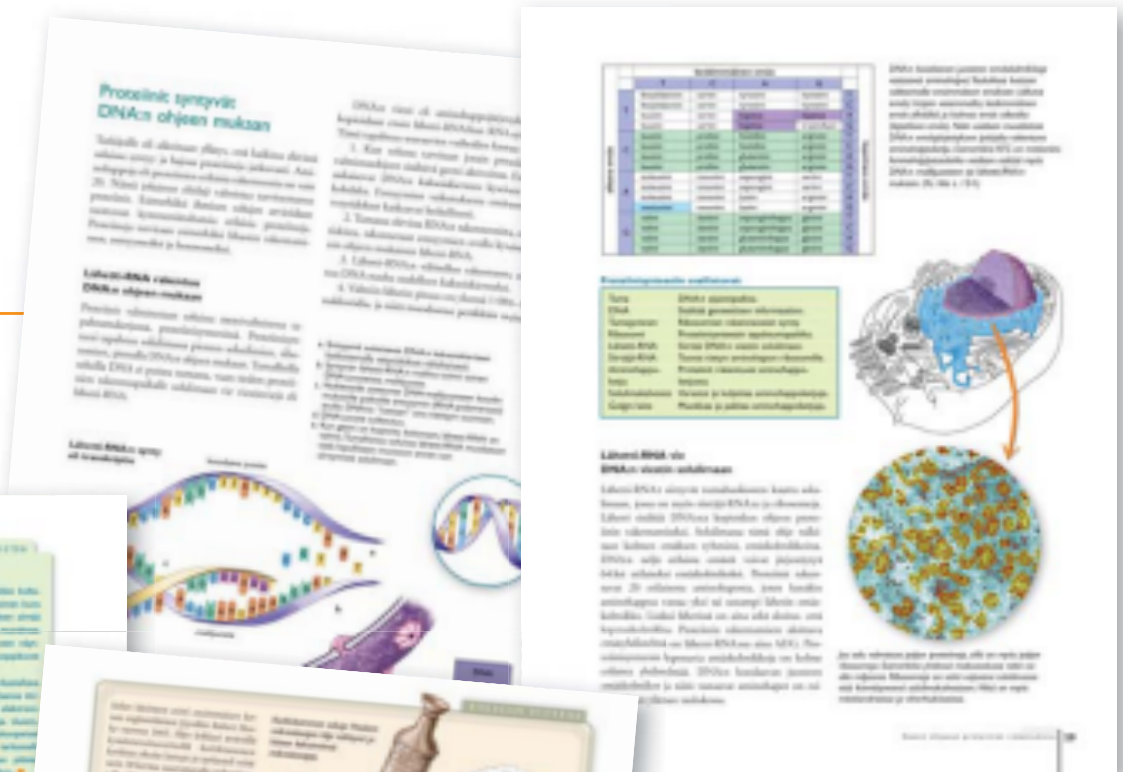
I. Kirjassa on kaksi jaksoa:

I Solu

II Perinnöllisyys

Jaksojen **aloitusaukeamilla** kerrataan jo aikaisemmin
biologian opinnoissa tutuksi tulleita käsitteitä ja aihepiirejä.
Lukujen otsikoiden avulla pystyt hahmottamaan jakson
punaisen langan. Aloitusaukeaman kysymykset
johdattavat sinut uusiin asioihin.

2. Opiskeltava asia etenee johdonmukaisesti otsikoissa, teksteissä, tehtävissä ja kuvissa.



3. Kiinnostavaa lisätietoa löydät vihreäpohjaisista taustatietolaatikoista ja ruskeapohjaisista historia-katselmuksista.



4. Kirjan tehtävien avulla voit ymmärtää, soveltaa ja kerrata käsiteltyjä asioita. Lisäksi kirjassa on kokeelliseen tutkimukseen liittyviä tehtäviä, aineistotehtäviä sekä ylioppilastutkintotehtäviä.

5. Avainsanat esittelevät kunkin luvun kannalta keskeiset käsitteet, joiden avulla voit testata oletko ymmärtänyt luvun asiasisällön. Yhteenveto on tiivistelmä luvun tärkeimmistä asioista.

6. Kirjan lopusta löydät luvuissa esiintyvät käsitteet selityksineen ja niiden englanninkieliset vastineet. Käsiteluettelo toimii myös hakemistona.

Solu

1 Eliöt rakentuvat soluista	8	Proteiinien rakennusohjeet ovat tumassa	54
Solusta tiedetään yhä enemmän	8	Proteiinit syntyvät DNA:n ohjeen mukaan	58
Solujen koko, elinikä ja muoto vaihtelevat	9		
Eliöt jaetaan solurakenteensa perusteella kahteen ryhmään	11	5 Entsyymit pilkkovat ja rakentavat molekyylejä	65
Solun toiminta perustuu kemiallisiin reaktioihin	12	Entsyymit ovat proteiineja	65
		Entsyymit nopeuttavat solujen kemiallisia reaktioita	66
2 Solun toiminta tarvitsee energiaa	19	6 Solut ovat toimivia kokonaisuuksia	73
ATP-molekyyli toimii soluissa energian välittäjänä	20	Solujen perusrakenne ja -toiminta ovat samankaltaisia	73
Yhdyttämässä energiaa sidotaan orgaanisten yhdisteiden kemialliseksi energiaksi	21	Solun rakenne ja toiminta	74
Fotosynteesi on ihanneoloissa tehokasta	26	Soluista muodostuu kudoksia tai solukoita	77
Hiilihydraatit ovat hyviä energialähteitä ja -varastoja	30		
Solut vapauttavat energiaa kemiallisista sidoksista	32	7 Solut lisääntyvät jakautumalla	79
3 Solu ottaa ja poistaa aineita ...	39	Omnis cellula e cellula, solu solusta	79
Solukalvo on solun suoja ja portti	39	Solun elämäntierrossa välivaihe on aktiivista aikaa	80
Lipidit ovat solukalvon rakenneseia	40	DNA kahdentuu välivaiheen aikana tumassa	80
Solukalvo toimii ja muuttuu jatkuvasti	42	Solun jakautumisessa perintöaines siirtyy tytärsoluun	82
Osa aineista kulkeutuu solukalvon läpi, osan kuljetus vaatii energiaa	43	Mitoottinen solun jakautuminen tuottaa emosolun kaltaisia tytärsoluja	84
4 Geenit ohjaavat proteiinien rakentumista	51		
Proteiinit ovat solujen toiminnan kannalta keskeisimpiä molekyylejä	51		

II Perinnöllisyys

8 Geenit siirtyvät sukusoluissa vanhemmilta jälkeläisille

88

Sukusolut syntyvät meioosin tuloksena

88

Meioosissa voi tapahtua häiriöitä, jotka

johtavat kromosomistomutaatioon

94

9 Geeni vaikuttaa ominaisuuksiin eri tavoin

97

Geenit ovat kromosomeissa

97

Eliöiden ominaisuudet ovat geenien

ja ympäristötekijöiden yhteisvaikutuksen

tulosta

98

Dominoiva alleeli peittää resessiivisen

alleelin vaikutuksen

100

Kaikki alleelit eivät ole dominoivia tai

resessiivisiä

104

10 Sukupuoli vaikuttaa joidenkin ominaisuuksien periytymiseen

111

Sukupuolikromosomien geenit määräävät

yleensä sukupuolen

111

Sukupuoli kertoo ominaisuuden

peritymistavasta

115

11 Yksilö kehittyy geenien yhteistyön ja ympäristön vaikutuksen tuloksena

119

Useista alleelipareista muodostuu monia

ominaisuusyhdistelmiä

120

Määrällisiin ominaisuuksiin vaikuttaa

monia geeniä

124

Geenien välinen vuorovaikutus ja

ympäristö vaikuttavat ominaisuuksien

ilmenemiseen

126

Perinnöllisyystiede auttaa ymmärtämään

evoluutiota

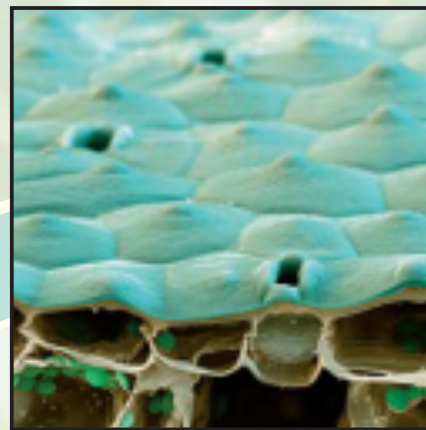
128

Käsitteet

135



Solu



Lehdet, kuten kasvien muutkin osat, koostuvat erilaisista soluista.

Jakson sisältämät luvut

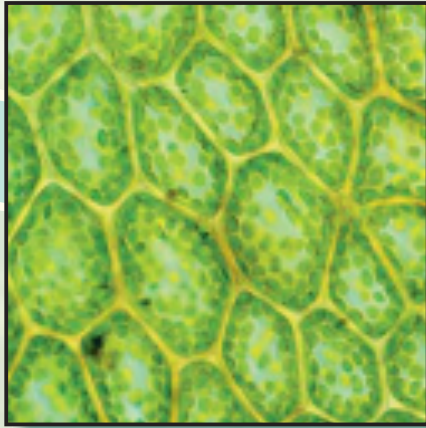


Kasvien osia ovat juuri, varsi ja lehdet.

1. Eliöt rakentuvat soluista
2. Solun toiminta tarvitsee energiaa
3. Solu ottaa ja poistaa aineita
4. Geenit ohjaavat proteiinien rakentumista
5. Entsyymit pilkkovat ja rakentavat molekyylejä
6. Solut ovat toimivia kokonaisuuksia
7. Solut lisääntyvät jakautumalla



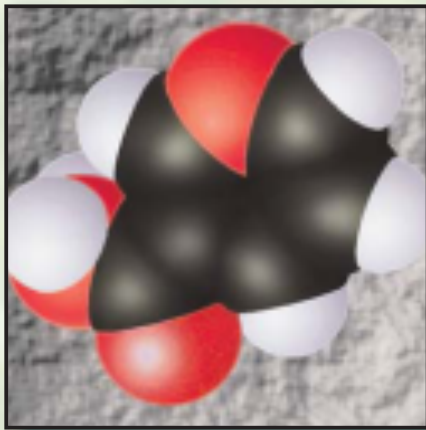
Ekosysteemeissä elää monenlaisia eliöitä, kuten valkovuokkoja.



Solu on elämän perusyksikkö.



Soluissa on monia soluelimiä, kuten viherhiukkasia.



Solut rakentuvat molekyyleistä.

- Minkä värisiä ja kokoisia solut ovat?
- Voiko soluja tehdä laboratoriossa?
- Mitä aineita solussa on?
- Voiko solu elää ikuisesti?
- Mikä ohjaa solujen toimintaa?



I.

Eliöt rakentuvat soluista

Kun tiikeri saalistaa, sen kaikki aistit ovat valppaina. Saalistuksessa tarvitaan itse asiassa monien solujen yhteistyötä. Tieto saaliin liikkeistä välittyy aistinsolujen kautta hermosoluihin. Aivot lähettävät viestejä lihassoluille, jotka supistuvat tiikerin hyökätessä. Tiikeri, kuten useimmat eliöt, rakentuu lukuisista soluista, ja kaikki sen elintoiminnot perustuvat solujen toimintaan.

Solusta tiedetään yhä enemmän

Elämän rakennuspalikoiden, solujen, tutkiminen alkoi 1600-luvulla, kun keksittiin suurentavat lasilinssit ja valomikroskooppi. Ihmisten havaintomaailma laajeni paljain silmin näkymättömään mikromaailmaan, ja solujen tieteellinen tutkimus eli solubiologia sai alkunsa. Erilaiset mikroskoopit ovat vieläkin nykyaikaisessa solubiologiassa keskeisiä tutkimuslaitteita.

Solun mikroskooppisten rakenteiden tutkimisen rinnalla selvitettiin myös niiden kemiallista koostumusta sekä soluissa tapahtuvia reaktioita. Tutkimusten perusteella huomattiin, että on olemassa rakenteeltaan ja toiminnaltaan hyvin monenlaisia soluja. Perusominaisuuksiltaan eri solutyypit eivät kuitenkaan eroa toisistaan kovinkaan paljoa.

Solujen koko, elinikä ja muoto vaihtelevat

Suurin osa soluista on hyvin pieniä. Suurimpia soluja ovat eläinten munasolut, erityisesti lintujen munien ruskuaiset, joissa on erittäin runsaasti vararavintoa kehittyvälle alkiolle. Ne voidaan nähdä paljain silminkin.

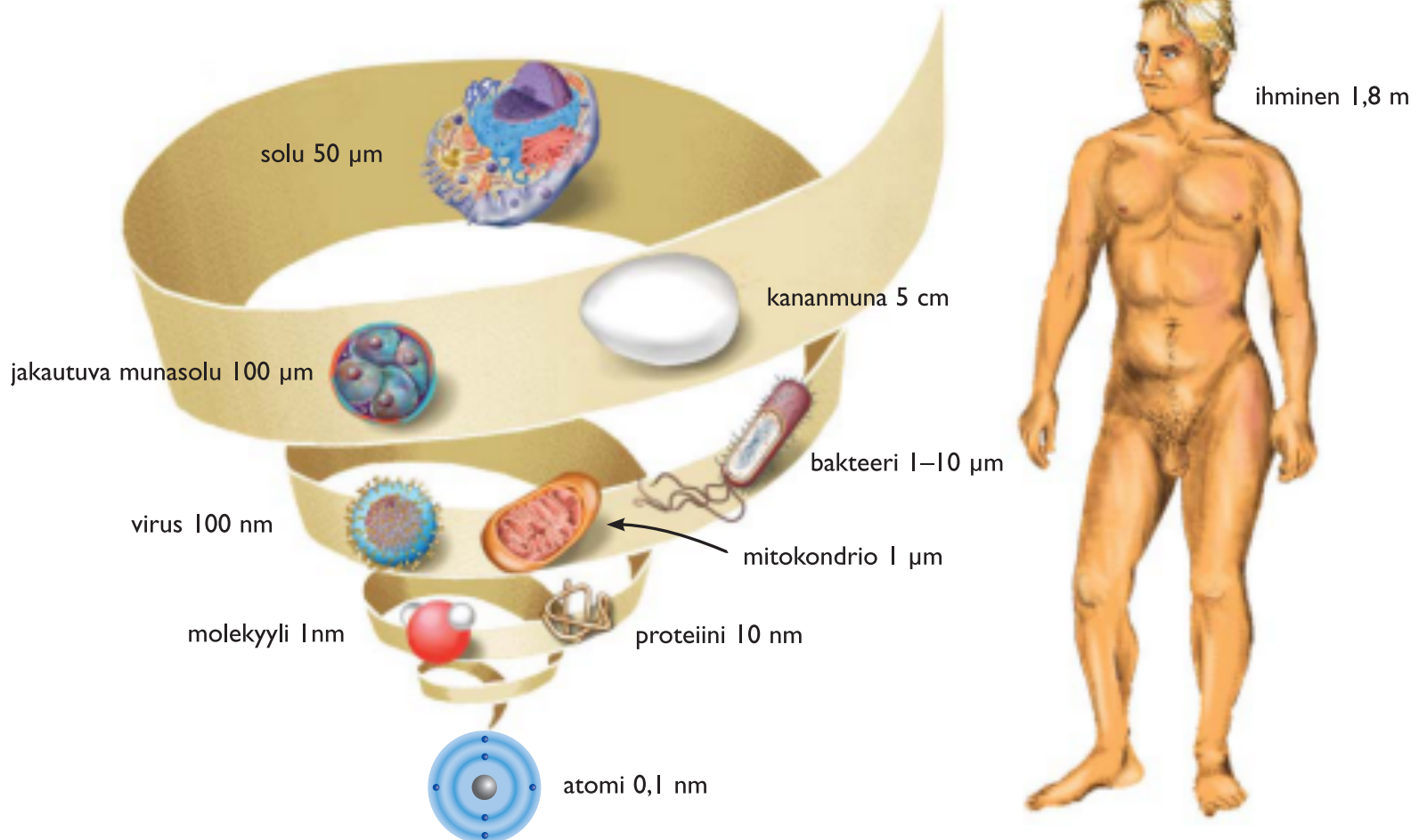
Solujen koko vaihtelee yleensä 10–100 μm välillä. Ihmisen pisimpiä soluja ovat hermosolut, joiden haarakkeet voivat olla jopa yli metrin mittaisia. Pienimpiä ihmisen soluja ovat punasolut ja siittiöt. Kasvisolut ovat kooltaan keskimäärin suurempia kuin eläinsolut. Yksi esimerkki kookkaista soluista on yhdestä solusta muodostuva *Acetabularia*-viherlevä (pituus 50–60 mm eli 50 000–60 000 μm ja läpimitta muutamia millimetrejä).

Kaikki elävät solut ottavat aineita ympäristöstään ja poistavat kuona-aineita tai muita erittämiään

aineita sisältään. Solu ei voi kasvaa kuinka suureksi tahansa, koska aineiden kuljetus sen sisällä tapahtuisi tällöin pitkien välimatkojen takia liian hitaasti. Koska solut ovat pieniä ja aineiden kuljetusmatkat siksi lyhyitä, aineet voivat siirtyä nopeasti sinne, missä niitä tarvitaan. Mitä pienempi solu on, sitä suurempi on sen pinta-ala suhteessa tilavuuteen, ja näin aineiden siirtyminen solun ja sen ympäristön välillä on tehokasta. Tästä syystä suurikokoisten eliöiden solut eivät ole sen suurempia kuin pienikokoisten, niitä vain on enemmän.

Solujen elinikä vaihtelee muutamasta tunnista useisiin kymmeneen vuosiin. Pitkäikäisimmät ihmisen solut, hermo- ja lihassolut, voivat elää koko ihmisen eliniän. Lyhytikäisimpiä ihmisen soluista ovat iho- ja verisolut. Eläinten kuolleet solut hajotetaan tai korvataan uusilla, mutta kasvien kuolleet solut voivat jäädä osaksi solukkoja. Esimerkiksi puiden useimmat kovaa puumassaa muodostavat solut ja kaarnan solut ovat kuolleita.

Elämän mittakaava



Yleensä millimetri on liian suuri mittayksikkö solujen koon kuvaamisessa. Mittayksikkönä käytetään siksi mikrometriä (μm) eli tuhannesosamillimetriä. Solujen osia tarkasteltaessa tarvitaan tätäkin pienempää yksikköä, nanometriä (nm), joka on mikrometrin tuhannesosa, siis millimetrin miljoonasosa.

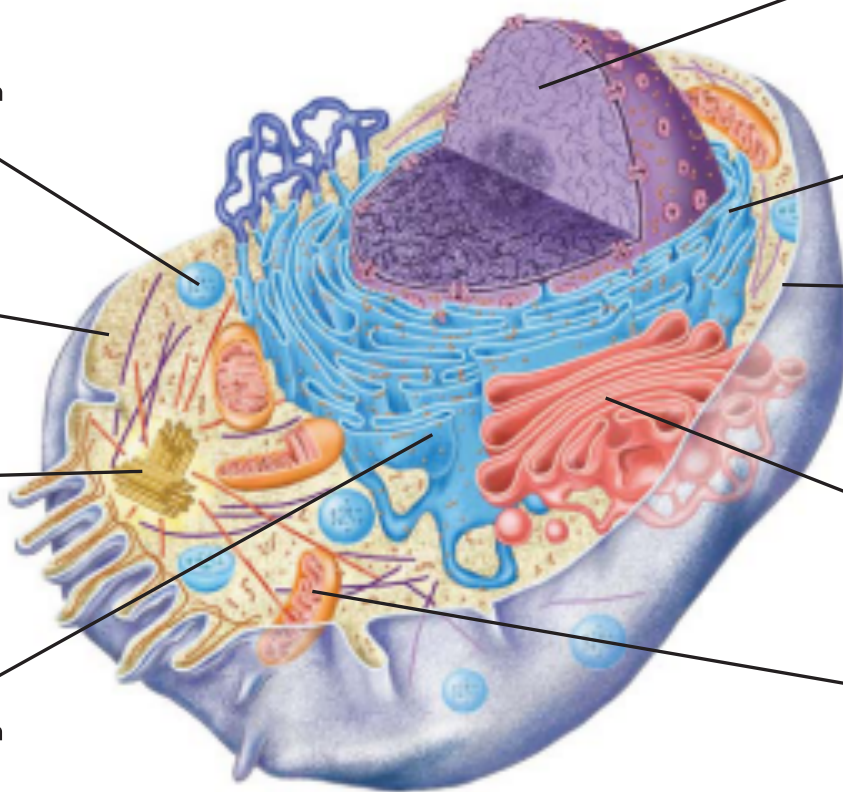
Eläinsolu

Lysosomissa olevat entsyymit hajottavat solun kannalta tarpeettomia aineita.

Solulima koostuu vedestä ja siihen liuenneista aineista.

Keskusjyvän osallistuu solun jakautumiseen.

Solulimakalvostossa valmistetaan ja kuljetetaan solun tarvitsemia aineita.



Tumassa olevat perintötekijät eli geenit ohjaavat solun toimintaa.

Ribosomi osallistuu proteiinien valmistamiseen.

Solukalvo säätelee aineiden siirtymistä soluun ja sieltä pois. Välittää soluun tulevia viestejä.

Golgin laite muokkaa ja pakkaa proteiineja.

Mitokondriossa ravintoaineista vapautuu energiaa solun käyttöön.

Kasvisolu

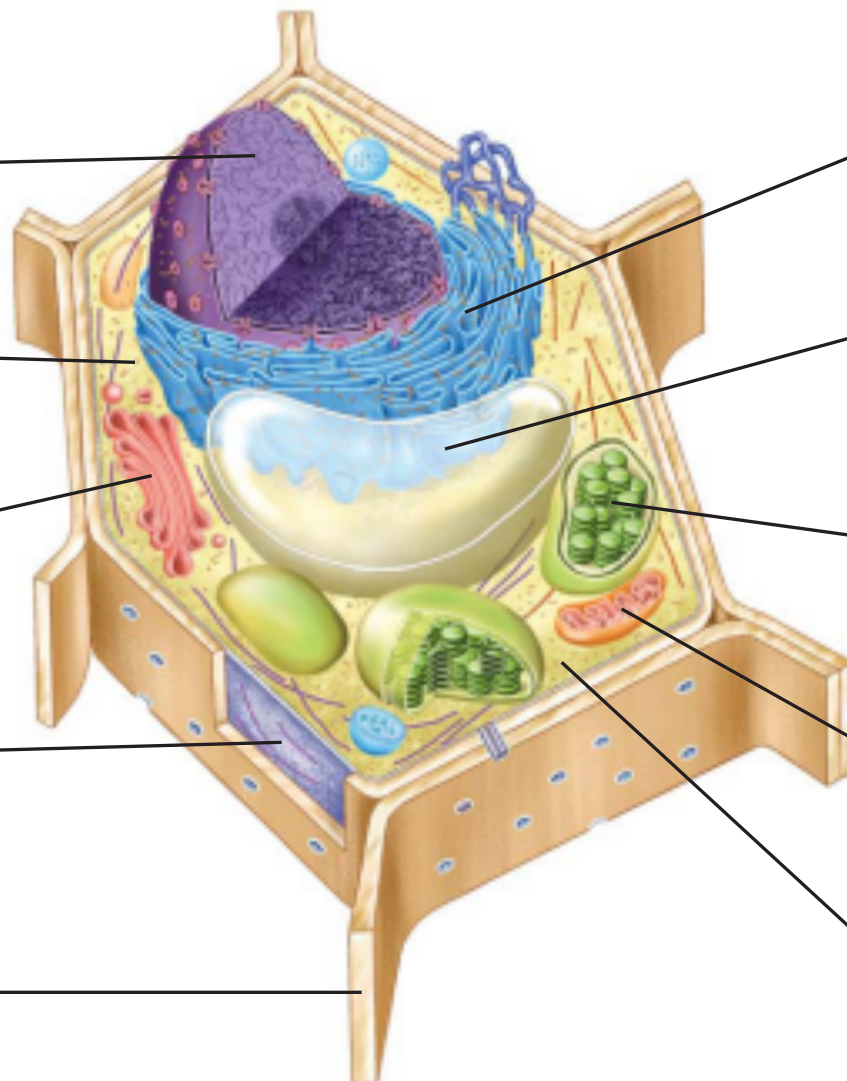
Tumassa olevat perintötekijät eli geenit ohjaavat solun toimintaa.

Ribosomi osallistuu proteiinien valmistamiseen.

Golgin laite muokkaa ja pakkaa proteiineja.

Solukalvo säätelee aineiden siirtymistä soluun ja sieltä pois. Välittää soluun tulevia viestejä.

Soluseinä suojaa ja tukee kasvisolua.



Solulimakalvostossa valmistetaan ja kuljetetaan solun tarvitsemia aineita.

Solunesterakkula varastoi kasvisoluissa jätteitä, vettä ja muita aineita.

Viherhiukkanen sitoo Auringon valoenergiaa fotosynteesissä kemialliseksi sidoksenenergiaksi.

Mitokondriossa ravintoaineista vapautuu energiaa solun käyttöön.

Solulima koostuu vedestä ja siihen liuenneista aineista.

Eliöt jaetaan solurakenteensa perusteella kahteen ryhmään

Maapallolla on ollut eläviä soluja jo yli 3,5 miljardia vuotta. Bakteerit ja arkit ovat vanhimpia yksisoluisia eliöitä, ja ne ovat menestyneet vaihtelevissa olosuhteissa nykypäiviin saakka. Nykyisin niitä elää kaikkialla maapallolla. Ne ovat erinomaisia selviytyjiä, kuten miljardien vuosien takaiset edeltäjänsä. Bakteereita ja arkkeja kutsutaan esitumallisiksi, koska niillä ei ole kalvon ympäröimää tumaa. Kooltaan esitumalliset solut ovat pieniä (1–10 μm) ja muodoltaan vaihtelevia: pallomaisia, sauvamaisia, käyriä tai spiraalille kiertyneitä. Esitumallisten solulimassa on vain vähän soluelimiä. Niiltä puuttuvat esimerkiksi mitokondriot

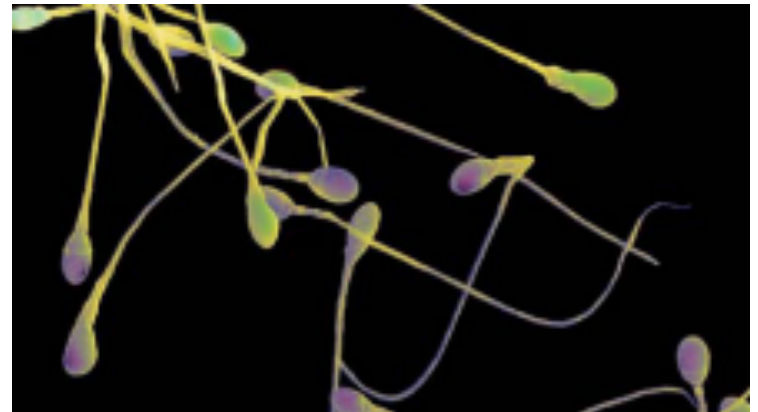
ja viherhiukkaset. Esitumallisilla eliöillä soluhengitys ja fotosynteesi tapahtuvat solukalvosta poimuttuneiden kalvojen pinnalla.

Yksisoluisia eliöitä ovat myös esimerkiksi alkueläimet ja eräät levät. Niiden solut eroavat arkeista ja bakteereista siten, että niiden kromosomeja ympäröi kalvo, tumakotelo. Tumalliset solut ovat esitumallisia soluja suurempia (10–100 μm), ja niiden rakenne on monimutkaisempi.

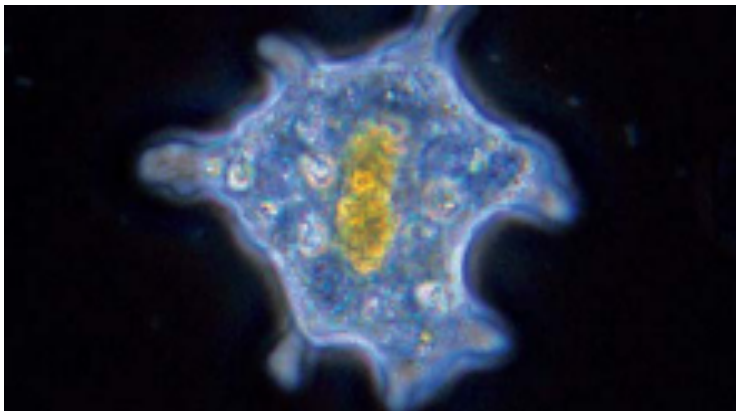
Monisoluiset eliöt, siis eläimet, kasvit, sienet ja monisoluiset levät, koostuvat useista erilaisiin tehtäviin erikoistuneista tumallisista soluista. Solujen välillä vallitsee työnjako, ja ne toimivat vuorovaikutuksessa keskenään.



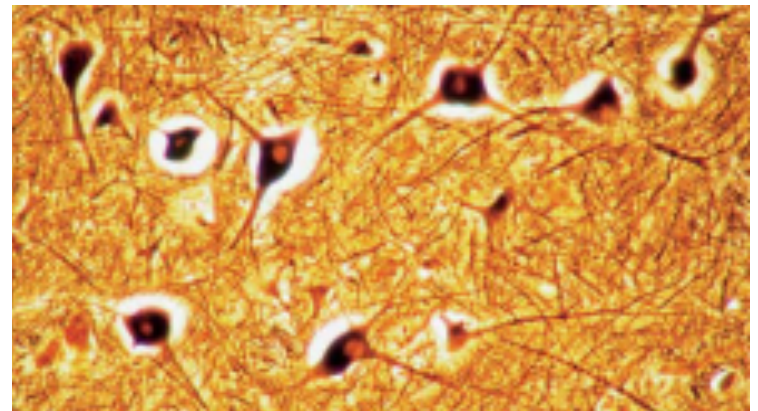
Bakteerisoluja



Siittiösoluja



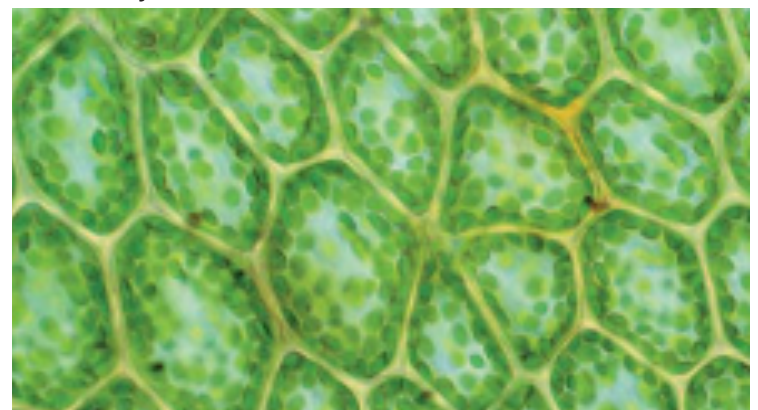
Ameeba, yksisoluinen alkueliö



Hermosoluja



Viherlevä



Kasvisoluja



eliö

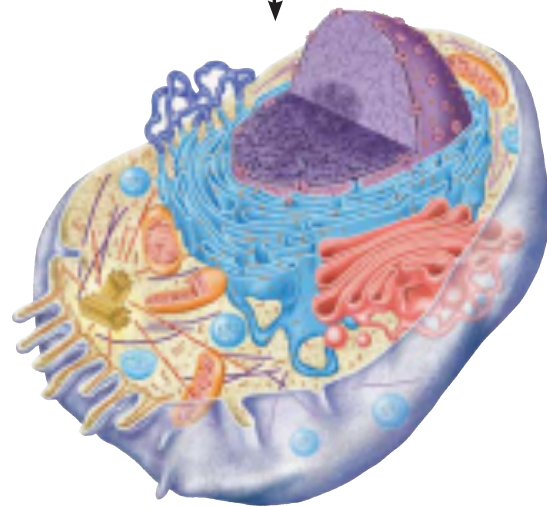
Solun toiminta perustuu kemiallisiin reaktioihin

Solut ovat kuin pienikokoisia kemiallisia tehtaita, joissa tuotteita valmistetaan perintötekijöiden (DNA:n) ohjeiden mukaan rakennetuilla tuotantolinjoilla. Tehaiden tavoin solut saavat tuotteiden valmistamisessa tarvittavat raaka-aineet ympäristöstään: kasvisolut ilmasta ja maaperästä ja eläinsolut eläimen syömästä ravinnosta. Soluissa valmistuu näistä raaka-aineista erilaisia tuotteita kemiallisissa prosesseissa. Tuotteiden valmistaminen vaatii myös energiaa, jota yhteyttävät kasvisolut sitovat suoraan auringon valoenergiasta. Eläinsolut saavat energiaa ravinnon mukana. Kuten tehtaissa, myös solujen tuotantoprosesseissa syntyy jätettä, josta osa on sellaista, että se kelpaa raaka-aineeksi jonkin toisen tuotteen valmistamisessa. Osa syntyneistä jätteistä on solulle käyttökeltvottomia tai jopa haitallisia, joten solu poistaa ne ulkopuolelleen.

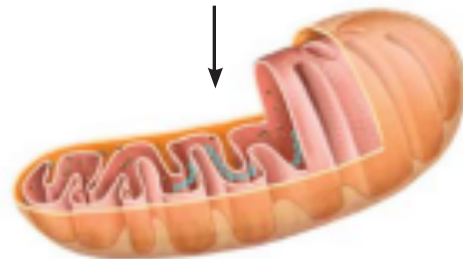
Solut rakentavat ja hajottavat erilaisia aineita kemiallisissa reaktioissa, jolloin aine muuttuu aina toiseksi aineeksi. Solun kemiallisten reaktioiden ja samalla myös elämän ymmärtämisen edellytyksenä on tieto siitä, mistä aineet koostuvat ja millaisia reaktioita elävissä soluissa tapahtuu. Solut ovat eläviä, mutta niiden toiminta perustuu elottomien atomien ja molekyylien toimintaan.

Alkuaineita tunnetaan nykyään ainakin 115, joista 92 on maapallolla esiintyviä luonnollisia alkuaineita. Näistä aineista elävissä eliöissä esiintyy 25. Solut koostuvat suurimmaksi osaksi neljästä alkuaineesta, jotka ovat hiili (C), vety (H), typpi (N) ja happi (O). Ihmissä näiden neljän alkuaineen osuus on noin 96 %.

solu



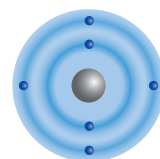
soluelin



molekyyli



atomi



Kaikki eliöt muodostuvat soluista ja solut pienemmistä rakenneyksiköistä, molekyyleistä. Molekyylit rakentuvat atomeista. Solut ovat eläviä, mutta niiden toiminta perustuu elottomien atomien ja molekyylien toimintaan.

Orgaaniset yhdisteet sisältävät hiiltä

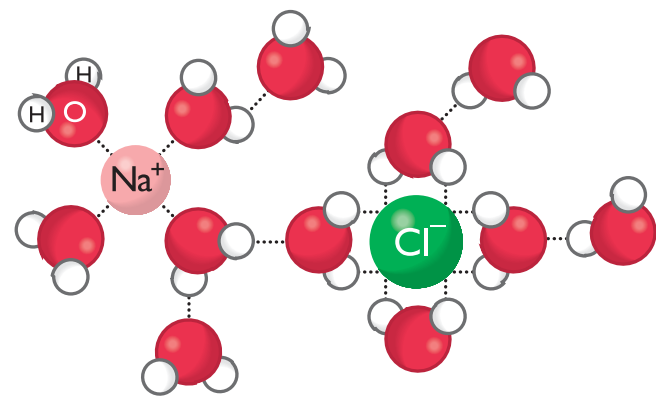
Solun hiiltä sisältävistä yhdisteistä (paitsi hiilidioksidi ja karbonaatit) käytetään nimitystä orgaaniset yhdisteet. Hiiliatomilla on muihin alkuaineisiin verrattuna poikkeuksellinen taipumus muodostaa suuria molekyyliä. Solujen orgaanisia yhdisteitä ovat hiilihydraatit, lipidit eli rasva-aineet, proteiinit eli valkuaisaineet ja nukleiinihapot, kuten geenien rakennusaine DNA. Tällaiset suuret molekyylit sisältävät runsaasti sidosten muodostuessa sitoutunutta energiaa eli sidosenergiaa. Sidosten purkautuessa tämä energia vapautuu, ja solut käyttävät sitä elintoimintoihinsa.

Vesi on solujen tärkein epäorgaaninen yhdiste

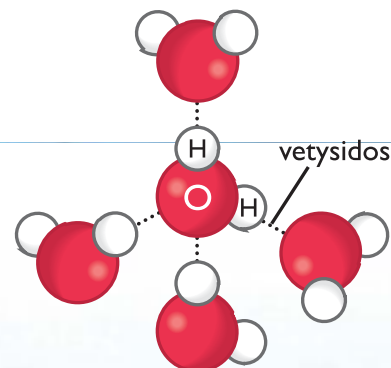
Orgaanisten yhdisteiden lisäksi soluissa on epäorgaanisia yhdisteitä, kuten esimerkiksi hiilidioksidi ja vettä. Soluissa on vettä keskimäärin 75–90 %. Vedellä on ainutlaatuisia kemiallisia ominaisuuksia verrattuna muihin samankokoisiin molekyyliin. Se on muun muassa erinomainen liuotin. Esimerkiksi ioniyhdisteet, kuten natriumkloridi, liukenevat helposti veteen. Useimmat solujen kemiallisista reaktioista tapahtuvat vesiliuoksessa, ja vesi on myös monien reaktioiden lähtöaine tai tuote. Edellä mainittujen ominaisuuksiensa vuoksi vesi on solujen tärkein epäorgaaninen yhdiste.

Vesimolekyylit pystyvät liittymään helposti toisiinsa vetysidoksilla. Rakenteensa ansiosta vesi pystyy ottamaan vastaan ja luovuttamaan paljon lämpöenergiaa niin, ettei sen lämpötila juurikaan muutu. Vesi on siis tärkeä lämmönsäätelijä ja kuljettaja. Lisäksi veden nestejännitys antaa soluille muodon ja lujuutta.

Solun kemialliset yhdisteet	Prosenttia painosta
Vesi	75–90
Muut epäorgaaniset yhdisteet	1–2
Proteiinit	5–20
Lipidit	1–2
Hiilihydraatit	1
Nukleiinihapot	1



Natriumkloridin liuotessa veteen sen ionit vetävät vesimolekyyliä puoleensa, jolloin vesimolekyylit tunkeutuvat natrium- ja kloridi-ionien väliin hajottaen niiden ionisidokset.



Veden molekyylit liittyvät toisiinsa vetysidoksilla muodostaen molekyylikimppuja. Vetysidokset sitovat molekyylit niin tiukasti toisiinsa, että veden pintaan muodostuu kimmoisa kalvo. Ilmiötä kutsutaan veden pintajännitykseksi. Pesuaineet katkovat vesimolekyylien välisiä vetysidoksia ja pienentävät siten pintajännitystä.

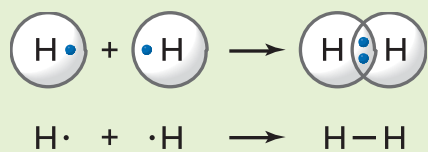
MOLEKYYLIT RAKENTUVAT ATOMEISTA

■ Atomi on kemiallisesti jakamaton aineen rakenneos, jonka ytimen muodostavat positiivisesti varautuneet protonit ja varauksettomat neutronit. Negatiivisesti varautuneet elektronit muodostavat ytimen ympärille elektroniverhon, jonka rakenne määrää atomin kemialliset ominaisuudet.

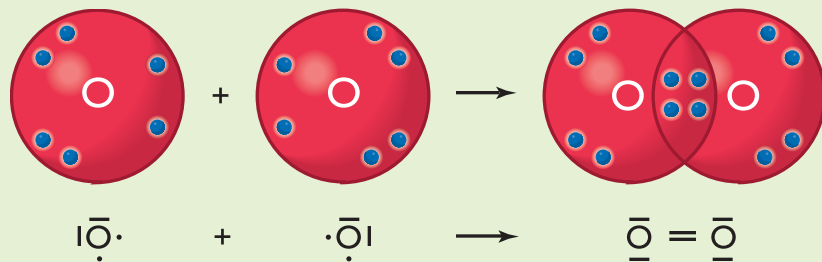
Tietyn alkuaineen kaikilla atomeilla on ytimessään sama määrä protoneja, eli niillä on sama järjestysluku. Atomissa olevien elektronien määrä on yhtä suuri kuin protonien määrä, joten atomi on ulospäin varaukseton. Atomit voivat kuitenkin menettää elektroneja, jolloin ne saavat positiivisen sähköisen varauksen, ja syntyy positiivinen ioni. Vastaavasti atomin saadessa lisää elektroneja sen varaus muuttuu negatiiviseksi ja syntyy negatiivinen ioni.

Elektroneja luovuttavat ja vastaanottavat atomit muodostavat helposti keskenään kemiallisia sidoksia. Sähköisesti varautuneiden ionien välistä sidosta sanotaan ionisidokseksi. Esimerkiksi ruokasuolassa eli natriumkloridissa (NaCl) natrium- (Na^+) ja kloridi-ionin (Cl^-) välillä on ionisidos.

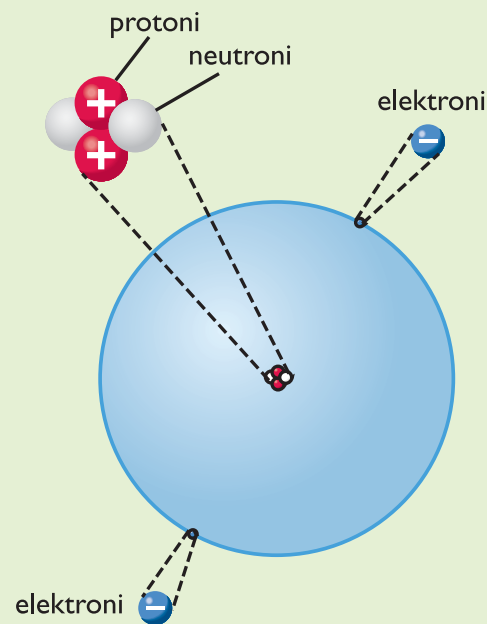
Jos atomi ei menetä elektronejaan vaan jakaa ne toisen atomin kanssa, syntyy kovalenttinen sidos. Tällainen sidos syntyy, kun esimerkiksi kaksi vetyatomia liittyy toisiinsa. Kovalenttisellä sidoksella toisiinsa liittyvät atomit muodostavat molekyylejä. Esimerkiksi happimolekyyli (O_2) muodostuu kahdesta happiatomista ja vesimolekyyli (H_2O) kahdesta vetyatomista ja yhdestä happiatomista.



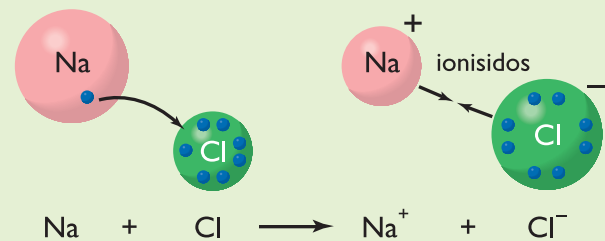
Vetymolekyyli muodostuu kahdesta vetyatomista, joiden välissä on kovalenttinen sidos.



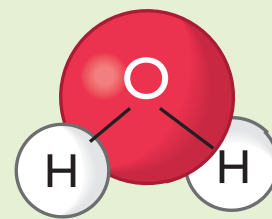
Happimolekyyli muodostuu kovalenttisellä sidoksella kahdesta happiatomista.



Heliumatomin rakennetta kuvaava malli.



Ruokasuolan eli natriumkloridin muodostuessa natrium luovuttaa elektroninsa ja kloori ottaa sen vastaan. Natriumista tulee positiivinen natriumioni ja kloorista negatiivinen kloridi-ioni. Sähköisesti varautuneet erimerkkiset ionit vetävät toisiaan puoleensa muodostaen ionisidoksen.



Vesimolekyyliässä happi- ja vetyatomien välillä on kovalenttiset sidokset. Happiatomi vetää elektroneja voimakkaammin puoleensa ja saa negatiivisen osittaisvarauksen. Vetyatomeihin syntyy positiivinen osittaisvaraus.

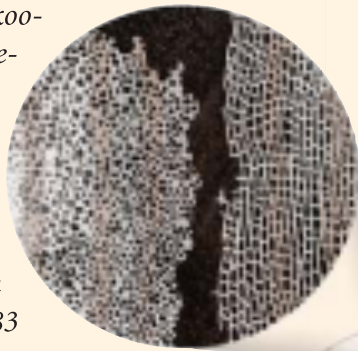
Solun käsitteen esitti ensimmäisen ker-
ran englantilainen fyysikko Robert Hoo-
ke vuonna 1665. Hän leikkasi terävällä
kynänteräveitsellä korkkitammen
korkista ohuita lastuja ja tarkasteli niitä
noin 30 kertaa suurentavalla mikroskoo-
pilla. Hän löysi korkista riveittäin pie-
niä reikiä, joita hän kutsui soluiksi
(cell = kammio, lokero).

Samalla vuosisadalla hollantilai-
nen luonnontieteilijä harrastanut An-
toni van Leeuwenhoek rakensi myös
mikroskooppeja ja hioi niihin kaikkiin
linssit itse. Hän julkaisi vuonna 1683
tutkimuksensa sekä omia piirustuksiaan
pienistä eliöistä, joita hän oli nähnyt ra-
kentamallaan mikroskoopilla. Hän oli
tutkinut hampaiden välistä keräämäänsä
plakkia. Tämä oli ensimmäinen kuvaus
bakteereista ja niiden liikkeistä. Lisäksi
Leeuwenhoek tutki mm. ihoa, sylkeä, virt-
saa, siittiöitä, punasoluja, alkueläimiä ja
hiivasoluja. Vaikka Leeuwenhoek kuvasi
monenlaisia mikroskooppisia kohteita,
niiden tutkiminen ei ollut vielä kovin tie-
teellistä.

1800-luvulla saavutettiin solubiologi-
assa tärkeitä uusia edistysaskeleita. Sil-
loin skotlantilainen kasvitieteilijä Robert
Brown julkaisi tutkimuksensa, jossa hän
kertoi löytäneensä kaikista tutkimistaan
soluista kappaleen, jonka hän nimesi tu-
maksiksi. Hän ei kuitenkaan esittänyt ar-
vailuja sen merkityksestä solulle. Samalla
vuosisadalla Matthias Schleiden havaitsi,
että kasvit koostuvat soluista ja että tumal-
la on merkitystä niiden lisääntymisessä.

Theodor Schwann puolestaan osoitti
myös eläinten koostuvan soluista, ja Hugo

Korkkitammen soluja Hooken
mikroskoopin läpi nähtynä ja
hänen keksimänsä
mikroskooppi.



Piirros homesienistä
mikroskoopin näkymässä
1600-luvulla.

Mohl kuvasi solun jakautumisen. Edellä
mainittujen havaintojen pohjalta Schwann
muotoili soluteorian: ”Kaikki eliöt ja nii-
den osat muodostuvat soluista, jotka toi-
saalta ovat pienimmät elävät perusyksik-
öt.” Rudolf Virchow täydensi Schwannin
soluteoriaa toteamalla, että kaikki solut
muodostuvat olemassa olevista soluista eli
syntyvät jakautumalla toisista soluista.

1800-luvulla kehittyivät mikroskoop-
pien ohella myös tutkittavien näytteiden
valmistus- ja värjäysmenetelmät. Vuo-
sisadan lopulla pystyttiin jo tarkastele-
maan kromosomien käyttäytymistä tu-
man jakautumisen aikana sekä löydettiin
uusia soluelimiä.

Vaikka valomikroskoopit ovatkin ke-
hittyneet huomattavasti, ovat niiden
suurennus- ja erotuskyky rajallisia.

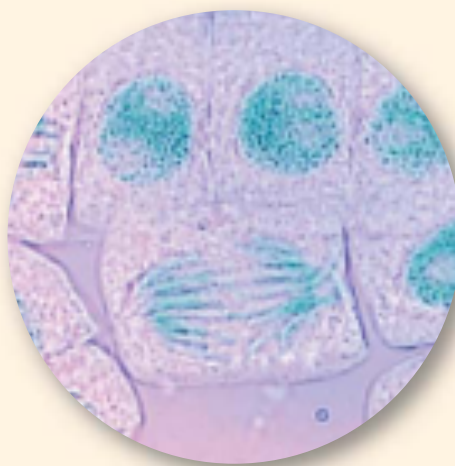
Valomikroskoopin toiminta perustuu
siihen, että valonsäteet kulkevat tutkitta-

van näytteen läpi. Siksi näytteen on oltava
niin ohut, että valo voi läpäistä sen. Valo-
mikroskoopilla voidaan tarkastella kohteita,
jotka ovat kooltaan suurempia kuin nä-
kyvän valon aallonpituus (400–700 nm).
Suurimmillaan valomikroskoopilla saa-
tava suurennos voi olla 1 500-kertainen.
Yksittäisiä solunosia pystyttiin näkemään
vasta, kun 1930-luvulla rakennettiin en-
simmäinen elektronimikroskooppi.

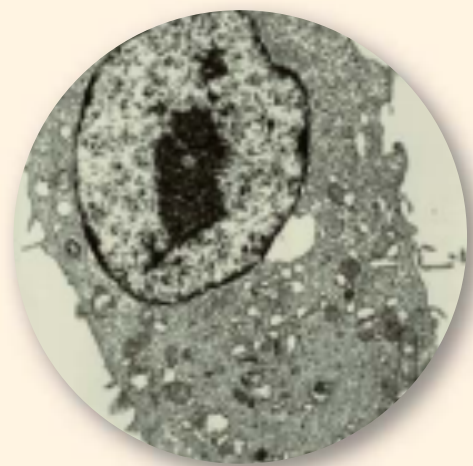
Samalla, kun solujen yhä pienemmät ra-
kenneosat ovat mikroskooppien kehittymi-
sen myötä selvinneet, on myös tutkittu so-
lujen kemiallisia ominaisuuksia ja selvitetty
solujen toimintaa yhä tarkemmin. Tietom-
me solusta on täydentynyt koko ajan, mutta
vieläkään siitä ei tiedetä kaikkea, eikä ehkä
koskaan tulla tietämäänkään. Samoin kuin
tutkijat löytävät sademetsistä uusia eliölä-
jeja, myös solututkijat löytävät soluista yhä
edelleen uusia asioita.



1800-luvulla löydettiin solusta tuma.
Valomikroskooppikuva posken
limakalvon soluista.



1800-luvun lopussa osattiin jo värjätä solu-
näytteitä. Valomikroskooppikuva värjätystä
kromosomeista tuman jakautumisen aikana.



Elektronimikroskooppikuva
eläinsolusta.

MIKROSKOOPILLA NÄHDÄÄN YHÄ PIENEMPIÄ SOLUN RAKENTEITA

■ Elektronimikroskoopeissa valo on korvattu elektronisuihkulla. Tutkittava kohde voidaan nähdä moninkertaisesti suurempana kuin valomikroskoopilla, koska elektronisuihkun aallonpituus on huomattavasti lyhyempi kuin näkyvän valon aallonpituus. Elektronimikroskoopin ansiosta on saatu selville myös hyvin pienten solun osien rakenne, ja myös molekyylien rakenteen tutkiminen on sillä mahdollista. Elektronimikroskoopilla voidaan kohde nähdä jopa 800 000 kertaa suurennettuna.

Elektronimikroskoopissa näytteestä muodostuu suurennettu kuva, jota voidaan tarkastella näyttöruudulta. Läpäisyelektronimikroskoopissa (TEM = transmissioelektronimikroskooppi) elektronisuihku menee näytteen läpi, kun taas pyyhkäisyelektronimikroskoopissa (SEM = scanning-elektronimikroskooppi) elektronit heijastuvat

näytteen pinnasta, joka on käsitelty esimerkiksi kulta-hiukkasilla. Näytteestä muodostuu mustavalkoinen kuva fluorisoidulle kalvolle, josta se voidaan edelleen siirtää filmille. Nykyään kuva tuotetaan digitaalisessa muodossa, jolloin sitä voidaan tutkia suoraan tietokoneen näyttöpäätteeltä. Useimmiten elektronimikroskooppikuvat värjätään vielä kuvankäsittelyohjelmilla.

Elektronimikroskoopilla näytettä on tarkasteltava tyhjiössä, etteivät elektronit menettäisi energiaansa törmäilemällä ilman molekyyliin. Tästä syystä elektronimikroskoopilla ei voi tarkastella eläviä soluja. Uusimmissa valomikroskoopeissa, konfokaalimikroskoopeissa, käytetään laservaloa. Niiden avulla voidaan tarkastella eläviä soluja. Tutkittavasta kohteesta saadaan pitkien kuvasarjojen avulla laadituksi tarkkoja 3D-malleja. ■



1. Punasolu valomikroskoopilla kuvattuna.

2. Värjätty kuva punasolusta läpäisyelektronimikroskoopilla (TEM) kuvattuna.

3. Värjätty kuva punasolusta pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) kuvattuna.

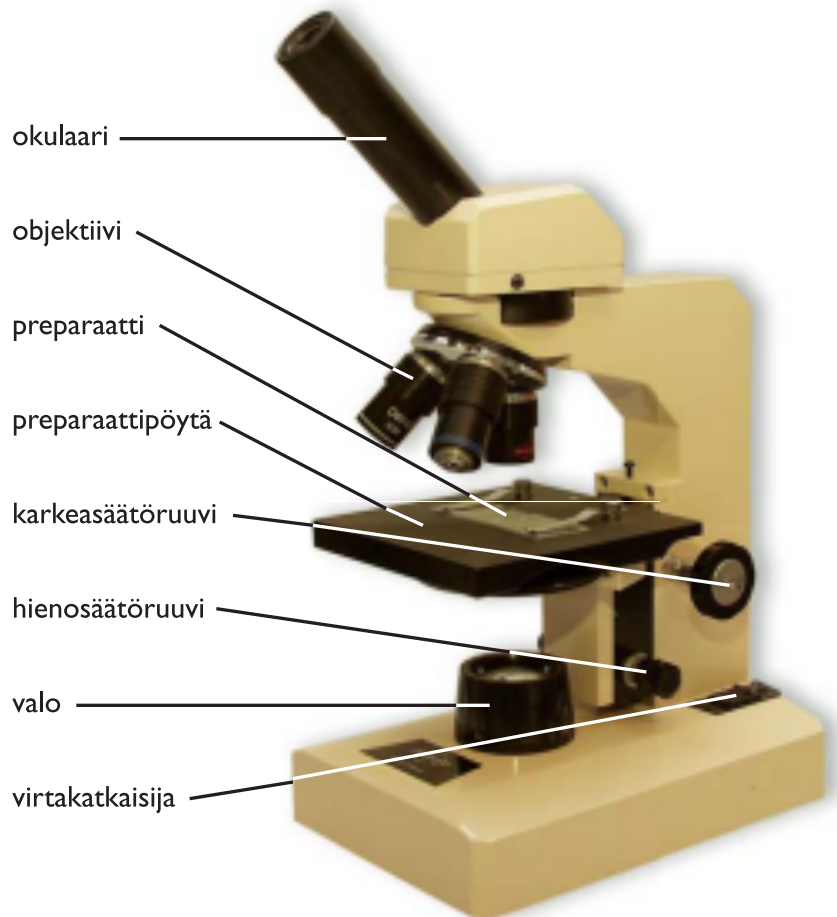
Tutkijoita elektronimikroskoopin ääressä.

TEHTÄVÄT

I. Solujen rakenteen tutkiminen

Tarvikkeet

lehväsammal (*Mnium* sp.) tai
 vesirutto (*Elodea* sp.)
 sipuli (*Allium* sp.)
 posken limakalvon soluja
 sini- ja/tai viherleviä
 siimaeliö (kestopreparaatti)
 tohvelieläin (kestopreparaatti)
 mikroskooppi
 aluslaseja
 peitinlaseja
 pinsetit
 preparointiveitsi
 hammastikkuja
 pipetti
 vettä
 1 % metyleenisiniliuosta (väriaine)



a. Lehväsammal tai vesirutto

1. Ota pinseteillä yksi lehti irti versosta.



2. Tiputa tippa vettä aluslasille ja laita irrottamasi lehti siihen.
3. Laita peitinlasi lehden päälle ja tutki näytettä mikroskoopilla eri suurennoksilla aloittaen pienimmästä suurennoksesta.
4. Nimeä näkemäsi solun osat. Vertaa näytettäsi s. II olevaan valomikroskooppikuvaan lehväsammalen soluista.

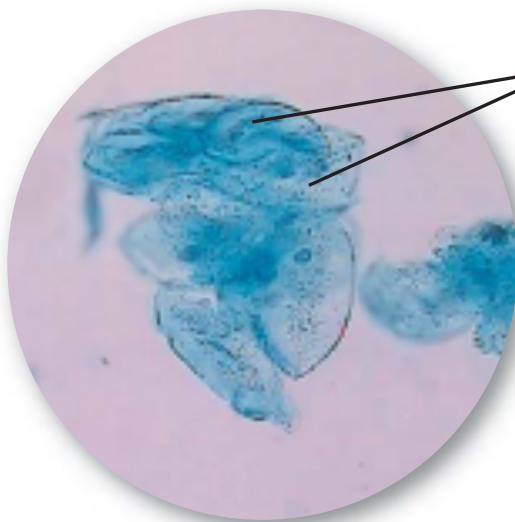
b. Sipuli



1. Halkaise sipuli ja irrota yksi varastolehti.
2. Tiputa pipetillä tippa vettä aluslasille.
3. Irrota varastolehden sisäpinnan ohutta kalvoa preparointiveitsellä ja pinseteillä noin 1 cm²:n kokoinen pala.
4. Asettele irrottamasi kalvo mahdollisimman sileänä vesitippaan.
5. Pipetoi näytteen päälle tippa metyleenisiniliuosta ja aseta sen päälle peitinlasi.
6. Tutki näytettä mikroskoopin eri suurennoksilla aloittamalla pienimmästä suurennoksesta.
7. Piirrä kuva solusta mahdollisimman tarkasti. Etsi solun osat ja nimeä ne piirroksesi.

c. Eläinsolu

1. Pipetoi aluslasille tippa vettä.
2. Raaputa hammastikulla soluja poskesi sisäpinnalta. Huuhtelee hammastikkuun tarttuneet solut aluslasilla olevaan vesitippaan. Lisää päälle pipetillä tippa metyleenisiniliuosta. Aseta peitinlasi päälle.
3. Tutki näytettä mikroskoopilla. Käytä kaikkia mikroskoopin suurennoksia, aloita pienimmästä.
4. Vertaa tutkimiasi soluja alla olevaan kuvaan ja nimeä näkemäsi solun osat.



d. Yksisoluinen levä

Valmista leväpreparaatti akvaarion seinästä tai vesinäytteestä otetuista soluista ja tutki näytettä mikroskoopilla. Piirrä leväsoluja vihkoosi.

e. Tohvelieläin tai siimaeliö

Tutki mikroskoopilla tohvelieläimen tai siimaeliön kestopreparaattia. Etsi ja nimeä näytteestä näkemäsi solun osat.

bakteereja

Posken limakalvosta otetussa solunäytteessä on usein bakteereja, jotka näkyvät mikroskoopilla tarkasteltaessa pieninä pisteinä tai sauvoina. Voit verrata eläinsolun ja bakteerisolun kokoeroa.

Y h t e e n v e t o

Kaikki eliöt rakentuvat soluista.

Solujen koko, elinikä ja muoto vaihtelevat.

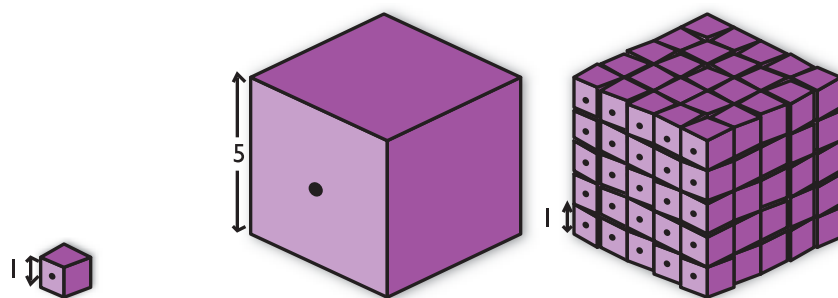
Eliöt voivat olla yksi- tai monisoluisia.

Eliöt jaetaan solurakenteensa perusteella esitumallisiin ja tumallisiin.

Monisoluisten eliöiden solut ovat erilaistuneet eri tehtäviin.

Solun toiminta perustuu kemiallisiin reaktioihin.

Kun solun koko kasvaa, sen pinta-alan suhde tilavuuteen pienenee.



Eliön koon kasvaessa on aineiden siirtymisen kannalta edullisempaa, että se koostuu useista pienistä soluista kuin muutamasta suuresta solusta.

Avainsanat

atomi
eliö
epäorgaaninen yhdiste
esitumallinen solu
hiili
molekyyli
orgaaninen yhdiste
solu
tumallinen solu
vesi

A close-up photograph of an orangutan with reddish-brown fur, holding a red fruit with green leaves in its mouth. The background is dark and out of focus.

2.

Solun toiminta tarvitsee energiaa

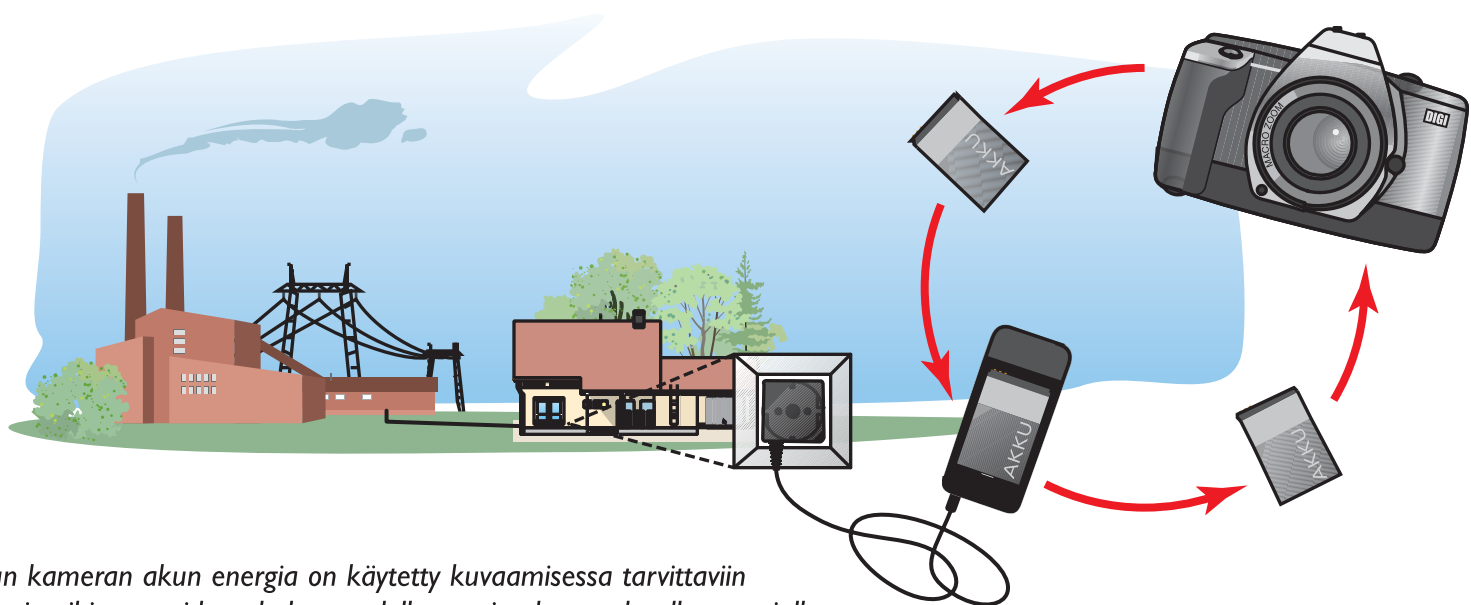
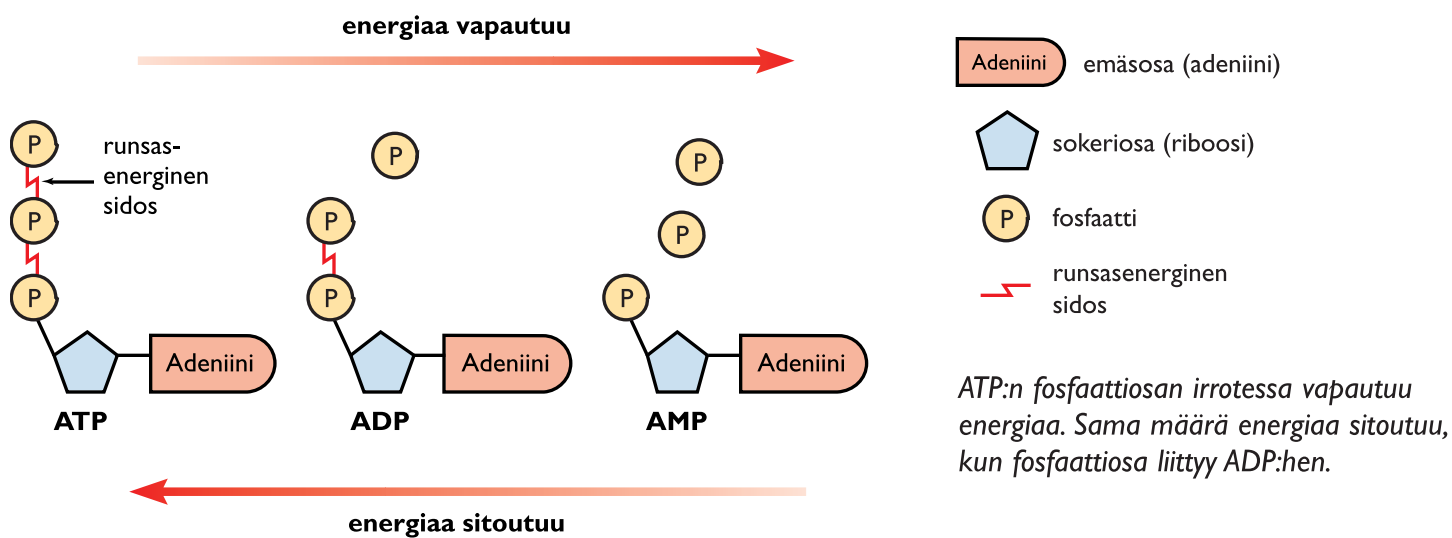
Kaikki eliöt tarvitsevat energiaa pysyäkseen hengissä. Alkueläimet ja useimmat bakteerit saavat energiaa ympäristönsä orgaanisista aineista. Kasvit sitovat energiaa suoraan Auringon valosta. Kun eläin syö, se saa energiaa ruuan sisältämistä ravintoaineista. Eliön jokainen solu tarvitsee energiaa käyttövoimakseen.

ATP-molekyyli toimii soluissa energian välittäjänä

Mistä tahansa elion energia onkin peräisin, se ei sellaisenaan ole käyttökelpoista elion solujen toiminnan kannalta. Energia muuttuu eliöiden soluille sopivaan muotoon vasta monivaiheisissa kemiallisissa reaktioissa. Reaktioiden yhteydessä muodostuu ns. runsasenergisiiä yhdisteitä, joihin vapautuvaa energiaa sitoutuu, ja joista solu saa sitä helposti käyttöönsä. Yleisin näistä energiaa sitovista yhdisteistä on nimeltään ATP eli adenosinitrifosfaatti.

ATP muodostuu adeniiniemäksestä, riboosisokerista ja kolmesta fosfaattiosasta, jotka ovat liitty-

neet toisiinsa runsasenergisillä sidoksilla. Sidoksen purkautuessa energiaa vapautuu solujen käyttöön ja ATP:stä tulee ADP eli adenosinidifosfaatti, jossa on kaksi fosfaattiosaa. Jos kaksi sidosta purkautuu, syntyy AMP eli adenosinimonofosfaatti, jossa on vain yksi fosfaattiosa. ATP toimii energian välittäjänä, ja solut voivat käyttää vain ATP-muodossa olevaa kemiallista energiaa. ATP on hyvin lyhytikäinen, joten se ei toimi energiavarastona. Jos siihen sitoutunutta kemiallista energiaa ei tarvita välittömästi, se hajoaa ADP:ksi ja fosfaattiosaksi.

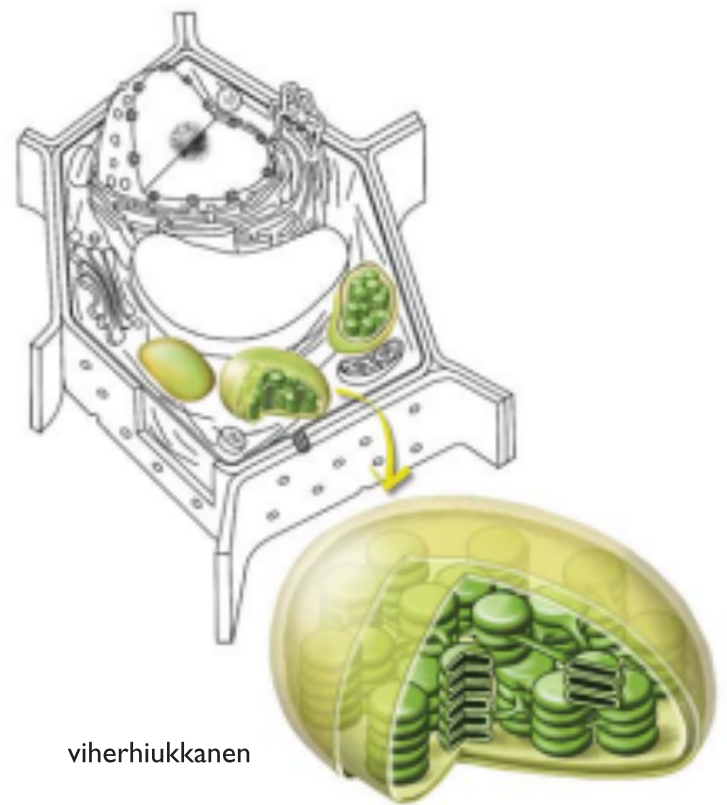


Kun kameran akun energia on käytetty kuvaamisessa tarvittaviin toimintoihin, se voidaan ladata uudelleen voimalasta tulevalla energialla. Vastaavasti, kun soluissa ATP:n energia on käytetty johonkin tarkoitukseen, esim. lihassolujen supistumisen aikaansaamiseen, AMP:tä ja ADP:tä voidaan ladata uudelleen ATP:ksi. ATP:tä on soluissa enemmän kuin ADP:tä, joten solu voi vapauttaa energiaa toimintoihinsa ATP:tä pilkkomalla.

Yhteyttämisessä energiaa sidotaan orgaanisten yhdisteiden kemialliseksi energiaksi

Yhteyttäminen eli energian sitominen voi tapahtua luonnossa kahdella tavalla: fotosynteesissä tai kemosynteesissä. Kemosynteesi on vanhempi yhteyttämisen muoto kuin fotosynteesi. Kemosynteesissä ei tarvita Auringon valoenergiaa.

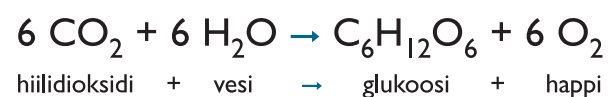
Maapallolla oleva elämä toimii kuitenkin pääasiassa aurinkoenergialla. Kasvien viherhiukkaset eli kloroplastit vangitsevat maapallolle 150 miljoonan kilometrin päästä tulevaa Auringon valoenergiaa. Kasvit pystyvät muuttamaan valoenergian viherhiukkasissaan kemialliseksi energiaksi. Tämä tapahtuma on nimeltään fotosynteesi. Fotosynteesissä yksinkertaisista epäorgaanisista raaka-aineista, vedestä ja hiilidioksidista, valmistuu kasvien viherhiukkasissa Auringon valoenergian avulla orgaanista ainetta, glukoosia eli rypälesokeria, ja sivutuotteena happea. Kasvit ovat siis energian suhteen omavaraisia eli autotrofisia. Ne ovat ekosysteemien ravintoketjujen tuottajia. Fotosynteesin avulla valoenergiaa pystyvät sitomaan kasvien lisäksi levät ja syanobakteerit (sinilevät).



viherhiukkanen

Fotosynteesin kulku voidaan kuvata yksinkertaisesti seuraavalla reaktioyhtälöllä:

Auringon valo

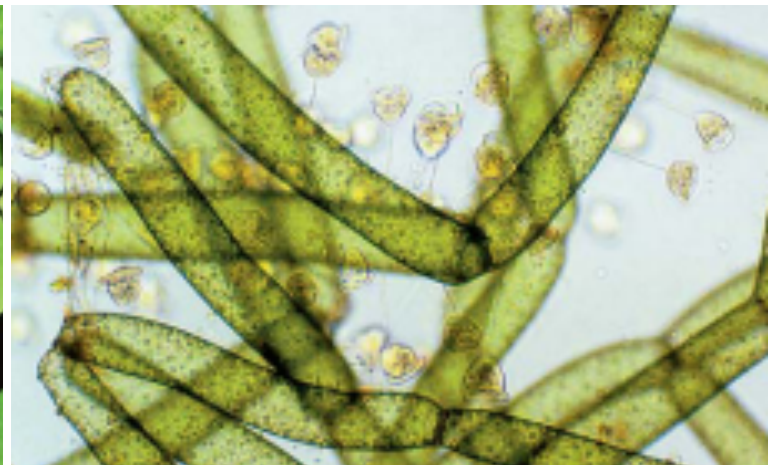


hiilidioksidi + vesi → glukoosi + happi

Käenkaali



Viherlevä



Rakkolevä

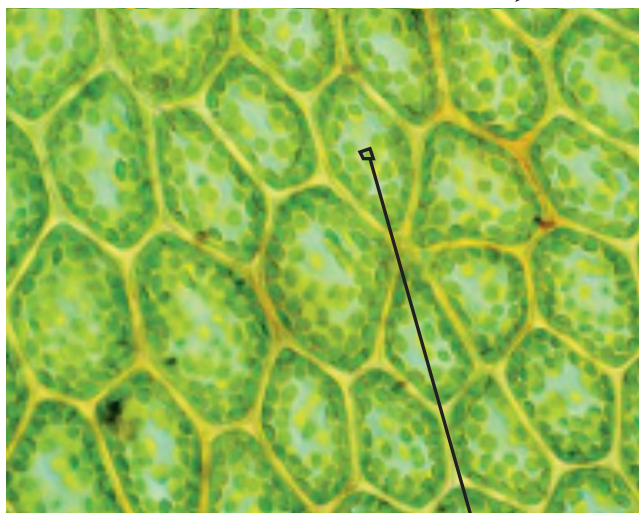
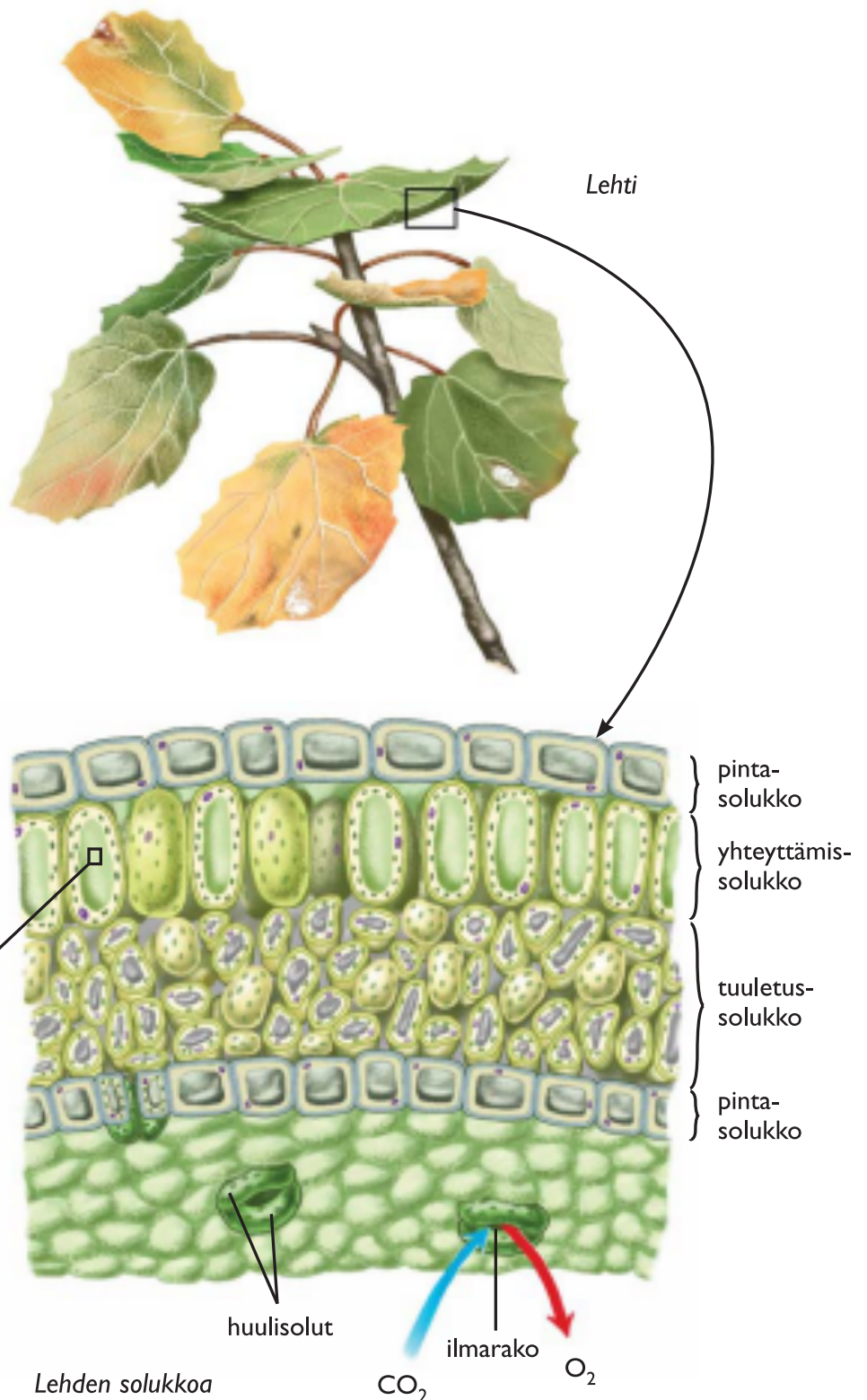


Syanobakteeri

Kasvien viherhiukkaset sitovat valoenergiaa

Kaikissa kasvin vihreissä osissa on viherhiukkasia. Eniten niitä on kuitenkin lehtien yläpinnalla yhteyttämissolukossa, jopa 30–40 kappaletta yhdessä solussa. Viherhiukkaset ovat soikeita, kaksinkertaisen kalvon ympäröimiä soluelimiä, joiden sisällä on kiekkopinojen näköisiä yhteyttämiskalvostoja ja nestemäinen välitila. Viherhiukkasten yhteyttämiskalvostoissa on yhteyttämisväriaineita, joista tärkein on lehtivihreä eli klorofylli.

Lehtivihreän lisäksi viherhiukkasissa on myös punaisia, keltaisia, oransseja ja ruskeita yhteyttämisväriaineita, mutta ne peittyvät kesäisin vihreän värin alle. Ne tulevat lehdissä esille vasta syksyisin, kun lehtivihreämolekyylit hajoavat ja kasvi varastoi tärkeät raaka-aineet tulevaa kevättä varten, jolloin niitä taas tarvitaan.



Yhteyttäviä soluja,
valomikroskooppikuva

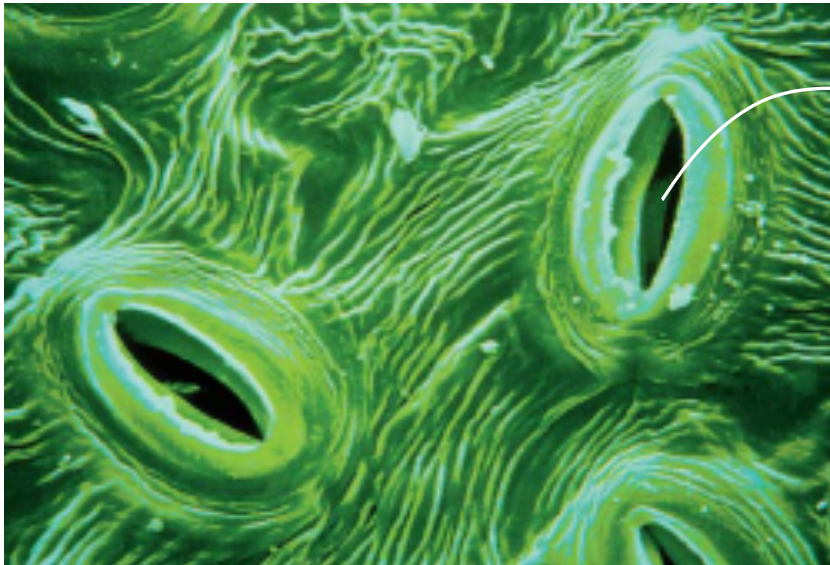


Elektronimikroskooppikuva viherhiukkasesta

Kaavakuva viherhiukkasesta. Viherhiukkasten arvelaan kehittyneen syanobakteereista, jotka elivät symbioosissa alkeellisten tumallisten solujen sisällä. Viherhiukkasissa on omaa DNA:ta ja ribosomeja.

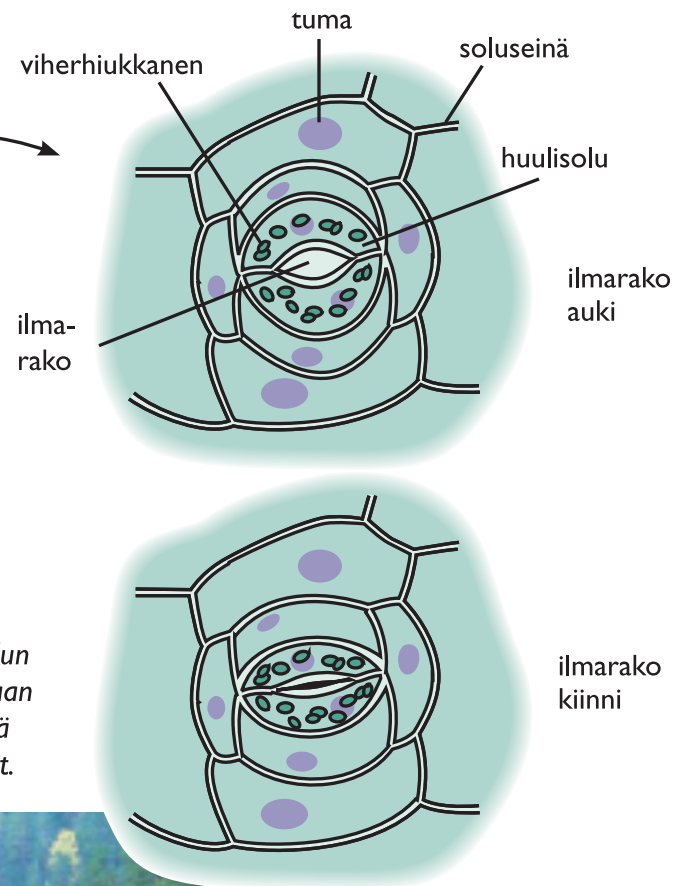
Fotosynteesin lähtöaineina ovat vesi ja hiilidioksidi

Maakasvit ottavat veden juurillaan maaperästä. Vesi kulkee putkilokasveilla varren johtojänteiden puuosassa ja lehtien lehtisuonissa, joista sitä siirtyy lehden yhteytämissolukon viherhiukkasiin. Hiilidioksidi tulee lehteen ilmarakojen kautta, joista myös ylimääräinen vesi haihtuu ilmaan. Haihtuva vesi saa aikaan haihtumisimun, joka aiheuttaa veden kulkemisen johtojänteissä.

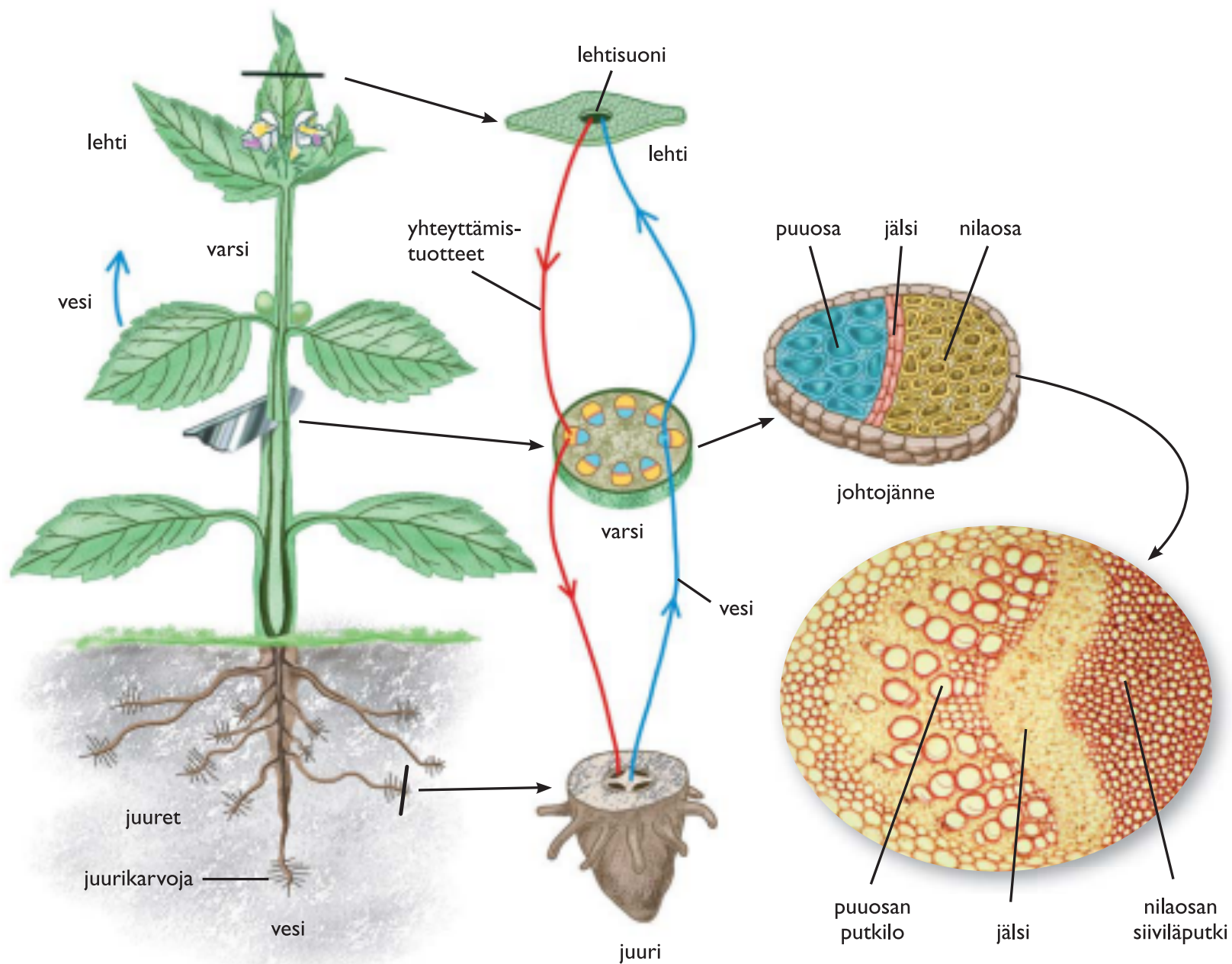


Elektronimikroskooppikuva ilmaraoista. Huulisoluissa on viherhiukkasia. Kun niissä tapahtuu fotosynteesiä, syntyy sokeria. Tämän vuoksi valoisaan aikaan huulisolut muuttuvat ympäröiviä soluja väkevämmiksi ja niihin siirtyy vettä ympäröivistä soluista (osmoosi). Huulisolut turpoavat ja ilmaraoit aukeavat.

Ilmaraoit ovat lehden alapinnalla sijaitsevia mikroskooppisen pieniä aukkoja, joita ympäröi kaksi huulisolua. Kun huulisoluihin siirtyy vettä ympäröivistä soluista, ne turpoavat ja ilmaraoit aukeaa. Huulisolujen veltostuessa veden puutteesta ilmaraoit sulkeutuvat. Kuumalla ja tuulisella säällä ilmaraoit ovat yleensä kiinni. Vettä ei haihdu pois kasvista, mutta myös hiilidioksidin ja hapen kulku ilmarakojen kautta estyy. Tällöin kasvin ravinteiden saantikin heikkenee, koska ravinteet kulkevat kasvissa veden mukana.



Syksyn ruska on seurausta siitä, että lehtivihreä molekyylit hajoavat ja viherhiukkasten muut väriaineet tulevat lehdissä näkyviin.



Vesi ja siihen liuenneet ravinteet kulkevat putkilokasveissa johtojänteiden puuosassa. Vesi siirtyy maaperästä juuren soluihin, koska juuren soluissa on väkevämpi liuos kuin maaperässä (osmoosi). Johtojänteiden puuosassa vesi kulkee haihtumisimun avulla. Vesimolekyylejä sitoo toisiinsa niiden välinen vetovoima (koheesio). Vettä poistuu ilmarakojen kautta mikä aiheuttaa haihtumisimun. Fotosynteesissä syntynyt glukoosi kulkee nilaosassa veteen liuenneena.

Vesikasvien sopeutuminen ympäristöönsä näkyy niiden rakenteissa. Juurettomat vesikasvit pystyvät ottamaan yhteyttämiseen tarvittavan veden ja hiilidioksidin pintasolukollaan. Kelluslehtisillä kasveilla, kuten lumpeella, ilmaraot ovat lehden yläpinnalla eivätkä alapinnalla kuten muilla kasveilla.



Fotosynteesissä on kaksi vaihetta

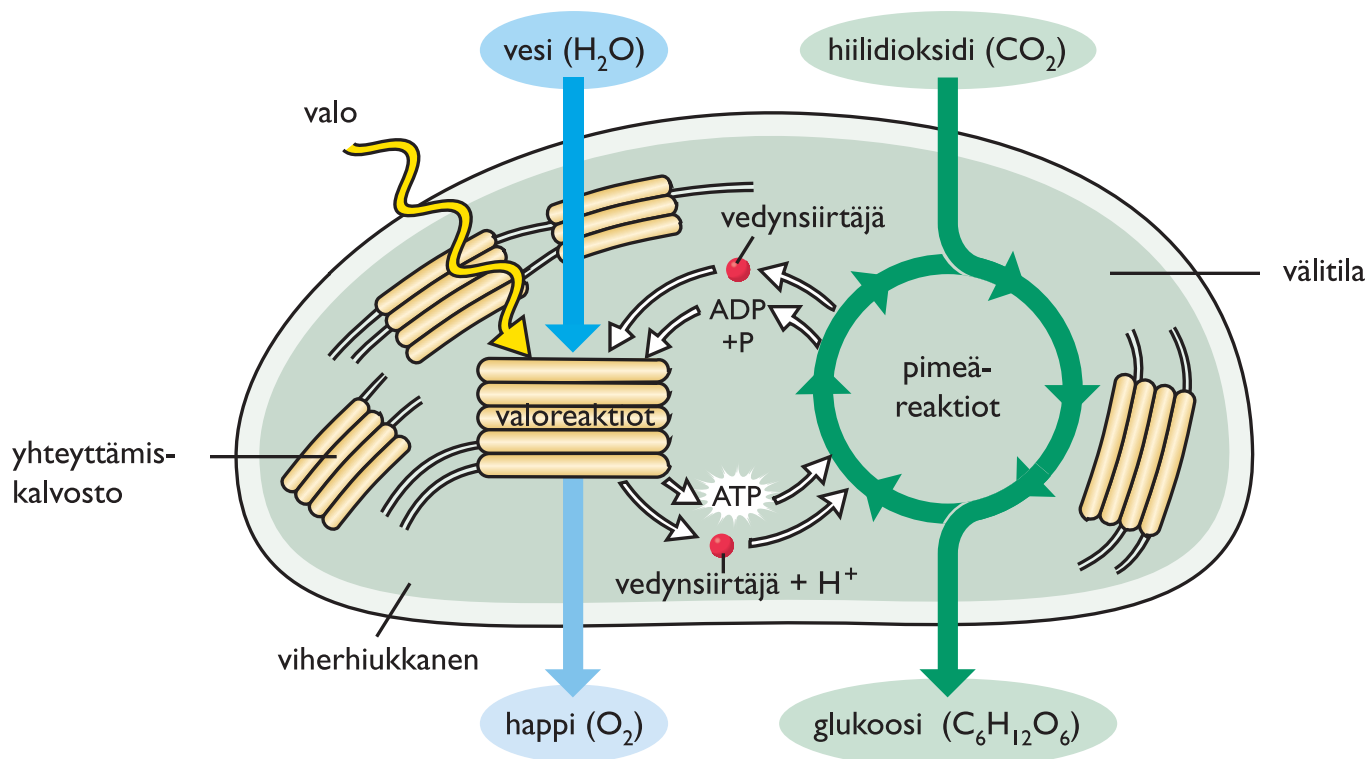
Fotosynteesin reaktiot tapahtuvat kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa, valoreaktioissa, tarvitaan Auringon valoenergiaa. Auringon valo on sähkömagneettista säteilyä, joka kuljettaa energiaa mukanaan. Kun säteily osuu kasvin lehteen, se imeytyy eli absorboituu siihen energiakvantteina eli fotoneina. Lehtien soluissa viherhiukkasten väriainemolekyylit virittyvät, jolloin niiden elektronit siirtyvät korkeammalle energiatasolle. Väriainemolekyyleissä viritys siirtyy molekyyliltä toiselle, viimeiseksi keskusklorofyllille. Näin ovat käynnistyneet fotosynteesin valoreaktiot, joiden tapahtumapaikkana ovat viherhiukkasten yhteyttämiskalvostot. Valoreaktioissa vesi hajoaa vedyksi ja hapeksi ja Auringon valoenergiaa sitoutuu ATP-molekyyleihin. Vety liittyy vedynsiirtäjään, joka kuljettaa sen fotosynteesin pimeäreaktioihin.

Fotosynteesin toinen vaihe, pimeäreaktiot, tapahtuvat viherhiukkasten nestemäisessä välitilassa yleensä välittömästi valoreaktioiden jälkeen, siis nimestään huolimatta päivällä. Pimeäreaktioissa ei enää tarvita valoenergiaa, vaan energiaa saadaan ATP-molekyylien runsasenergistien sidosten purkautuessa. Hiilidioksi-

dista ja vedystä syntyy monivaiheisen reaktiosarjan lopputuotteena glukoosia eli rypälesokeria, jonka kemiallisiin sidoksiin alun perin Auringosta lähtöisin ollut energia on nyt sitoutuneena. Kasvit varastoivat suuren osan tuottamastaan glukoosista liukenemattomina tärkkelysyyvinä soluihinsa, ja muuttavat tarvittaessa tärkkelystä takaisin glukoosiksi.

TAUSTATIETOA

Fotosynteesissä tapahtuu hapetus-pelkistysreaktio. Sillä tarkoitetaan reaktiota, jossa hapettuvan aineen atomit luovuttavat elektroneja pelkistyvän aineen atomeille. Fotosynteesin valoreaktioissa vesi hajoaa muodostaen happea, vetyioneja ja elektroneja. Vety luovuttaa elektronit vedynsiirtäjämolekyylille, jolloin vety hapettuu. Vedynsiirtäjä ottaa vastaan elektronin eli pelkistyy. Pimeäreaktioissa puolestaan hiilidioksidi pelkistyy vedynsiirtäjän ja ATP:n avulla vaiheittain glukoosiksi. Hapettuminen ja pelkistyminen tapahtuvat aina samanaikaisesti: kun jokin aine hapettuu, toinen pelkistyy.



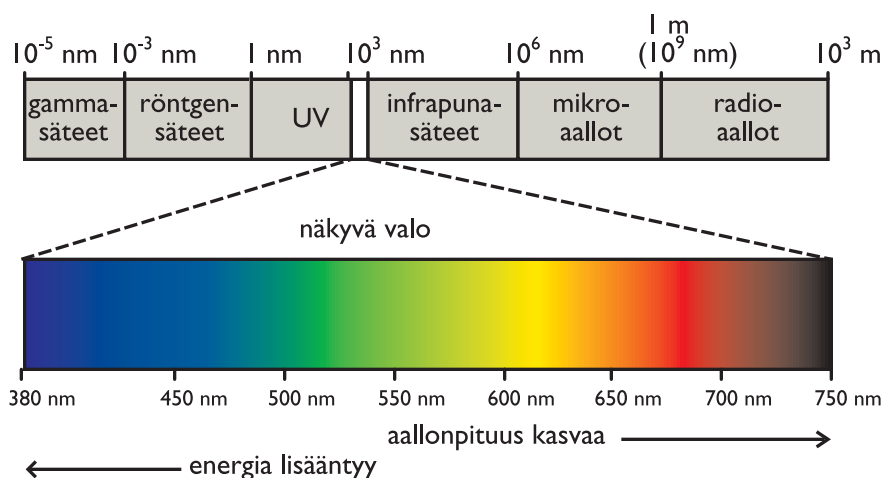
Fotosynteesin valoreaktiot tapahtuvat viherhiukkasen yhteyttämiskalvostoissa valoenergian avulla. Lähtöaineena on vesi ja lopputuotteina happi ja vety. Pimeäreaktiot tapahtuvat viherhiukkasen välitilassa yleensä heti valoreaktioiden jälkeen. Energia reaktioihin saadaan valoreaktiossa syntyvien ATP-molekyylien sidosten purkautuessa. Lähtöaineina ovat vety ja hiilidioksidi, joista syntyy lopputuotteeksi glukoosia.

Fotosynteesi on ihanneoloissa tehokasta

Mitä tehokkaammin fotosynteesiä tapahtuu kasvissa, sitä enemmän kasvi tuottaa orgaanista ainetta, ja sitä nopeammin se kasvaa. Kun esimerkiksi viljelykasvien fotosynteesi saadaan tapahtumaan tehokkaasti, tulee hyvä sato. Fotosynteesin tehokkuuteen voidaan vaikuttaa huomattavastikin säätämällä ympäristötekijät mahdollisimman suotuisiksi. Helpointa tämä on kasvihuoneessa, jossa voidaan vaikuttaa kaikkien ympäristötekijöiden eli valon, hiilidioksidin, lämpötilan, veden ja ravinteiden määrään.

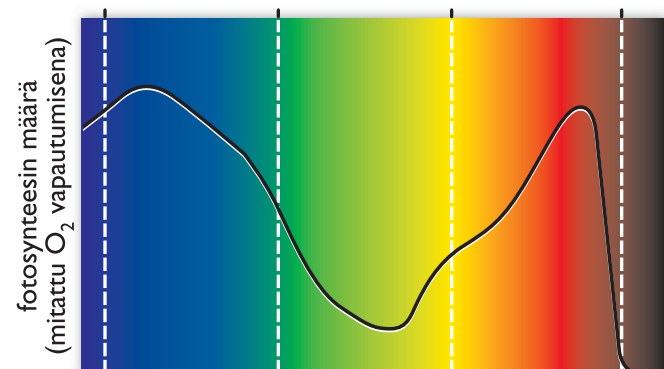
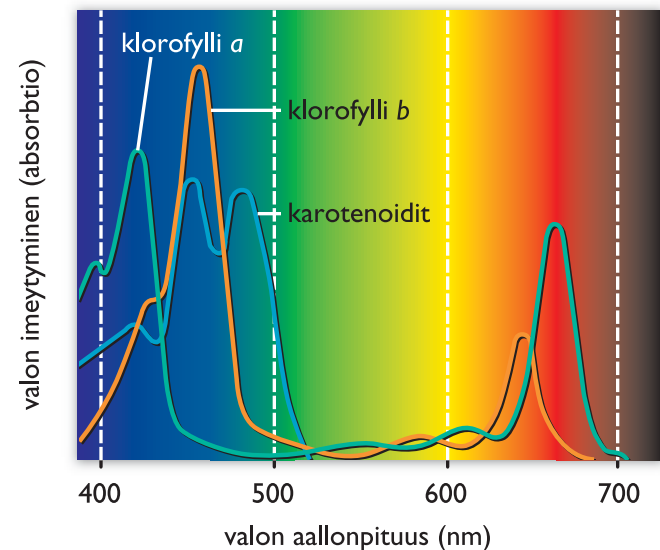
Näkyvä valo on fotosynteesin energialähde

Auringosta maapallolle tulevan säteilyn aallonpituus vaihtelee alle nanometristä yli kilometriin. Fotosynteesin energialähteeksi kelpaa Auringon koko säteilystä vain näkyvä valo, jonka aallonpituusalue on 380–750 nm. Maapallolle tulevan näkyvän valon kokonaismäärästä fotosynteesissä käytetään vain noin 2 %. Näkyvän valon eri aallonpituudet havaitaan eri väreinä. Viherhiukkasten yhteyttämisväriaineet pystyvät sitomaan parhaiten punaisen ja sinisen värin aallonpituusalueita. Vihreän värin aallonpituusalue heijastuu pääosin pois kasvin lehdestä, joten lehti näyttää vihreältä.



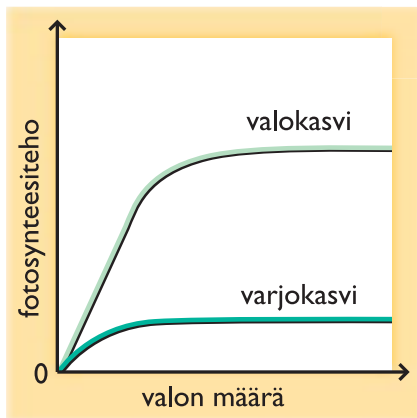
Näkyvän valon aallonpituusalue havaitaan eri väreinä. Näkyvän valon alue on aallonpituudeltaan kapea alue koko sähkömagneettisessa spektrissä.

Kasveilla on kasvihuoneissa ihanteelliset kasvuolosuhteet: riittävästi vettä, lämpöä, valoa, hiilidioksidia ja ravinteita. Kasvien fotosynteesi on tehokasta, joten ne tuottavat hyvän sadon.

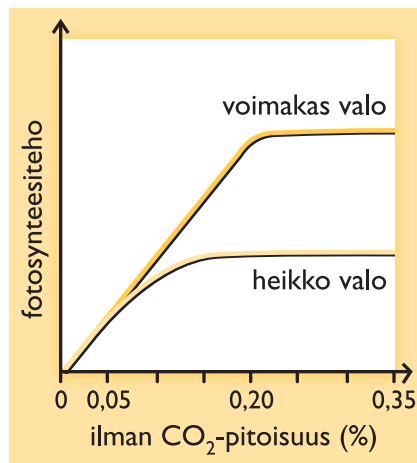


Fotosynteesin kannalta tehokkaimpia valon aallonpituuksia ovat sininen ja punainen. Näillä aallonpituusalueilla eri yhteyttämisväriaineet käyttävät valoa tehokkaimmin.

Metsätähti on varjokasvi, joka viihtyy hämärissä, tuoreissa kangasmetsissä. Kissankello on puolestaan valokasvi, joka kasvaa etupäässä avoimilla, paahteisilla niityillä ja pientareilla. Molemmat esiintyvät myös toistensa kasvupaikoilla, mutta kasvien fotosynteesiteho ei silloin ole välttämättä paras mahdollinen.



Valon määrän vaikutus fotosynteesitehoon.



Hiilidioksidipitoisuuden vaikutus fotosynteesitehoon.



Aurinkoisena päivänä fotosynteesi on tehokkaampaa kuin pilvisenä päivänä, ja aurinkoinen kasvupaikka on yleensä fotosynteesin tehon kannalta parempi kuin varjoisa. Toisaalta monet kasvit ovat sopeutuneet kasvamaan hyvinkin varjoisilla kasvupaikoilla. Tällaisten varjokasvien fotosynteesiteho on kirkkaassa valossa paljon alhaisempi kuin kirkkaaseen valoon sopeutuneilla valokasveilla. Kasvit pystyvät käyttämään Auringosta tulevasta valosäteilystä vain pienen osan fotosynteesissään. Siksi valon määrän lisääntyminen nostaa fotosynteesin tehoa vain tiettyyn rajaan asti.

Hiilidioksidin määrä, lämpötila, vesi ja ravinteet vaikuttavat myös fotosynteesin tehokkuuteen

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on nykyisin noin 0,036 %. Kasvit pystyisivät käyttämään fotosynteesissään huomattavasti enemmän hiilidioksidia, ja siksi sen määrän kasvaessa fotosynteesi on tehokkaampaa, mutta vain tiettyyn rajaan asti. Voimakkaassa valossa hiilidioksidipitoisuuden nousu lisää fotosynteesiä tehokkaammin kuin heikossa valossa. Tätä hyödynnetään kasvihuoneviljelyssä.

Suomen oloihin sopeutuneiden kasvien fotosynteesi alkaa yleensä, kun lämpötila nousee yli 0°C :een, ja tehokkainta se on $+20\text{--}30^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Kun lämpötila nousee yli $+40^{\circ}\text{C}$, fotosynteesi hidastuu nopeasti ja lakkaa sitten kokonaan. Tämä johtuu siitä, että liian korkeassa lämpötilassa fotosynteesireaktioissa tarvittavat entsyymit tuhoutuvat. Korkeassa lämpötilassa myös kasvien soluhengitys kiihtyy, ja silloin kasvisolut kuluttavat enemmän glukoosia, kuin sitä ehtii fotosynteesissä syntyä.

Vesi on kasveille välttämätöntä paitsi fotosynteesin lähtöaineena, myös siksi, että ravinteet kulkevat kasviin veden mukana. Koska maaperässä on ravinteita niukasti, kasvin on otettava enemmän vettä kuin se tarvitsisi ja haihdutettava ylimääräinen vesi ilmarakojensa kautta pois. Ravinteita, kuten fosforia, kaliumia ja typpeä, kasvi tarvitsee muun muassa fotosynteesissä toimivien entsyymien ja yhteyttämisväriaineiden rakennusaineiksi.

Luonnossa fotosynteesin kannalta ihanteelliset ympäristöolot vallitsevat tropiikissa. Kuvan sokeriruokopelto on esimerkki trooppisten alueiden kasvien tehokkaasta tuotannosta. Sokeriruoko tuottaa fotosynteesissään suurimman osan ihmisen kuluttamasta valkoisesta sokerista. Lauhkean vyöhykkeen vastaava sokerikasvi on sokerijuurikas. Sen fotosynteesituotanto ei meillä yllä lyhyemmän kasvukauden takia samoihin mittoihin.



Kemosynteesi – energian sitomista ilman auringonvaloa

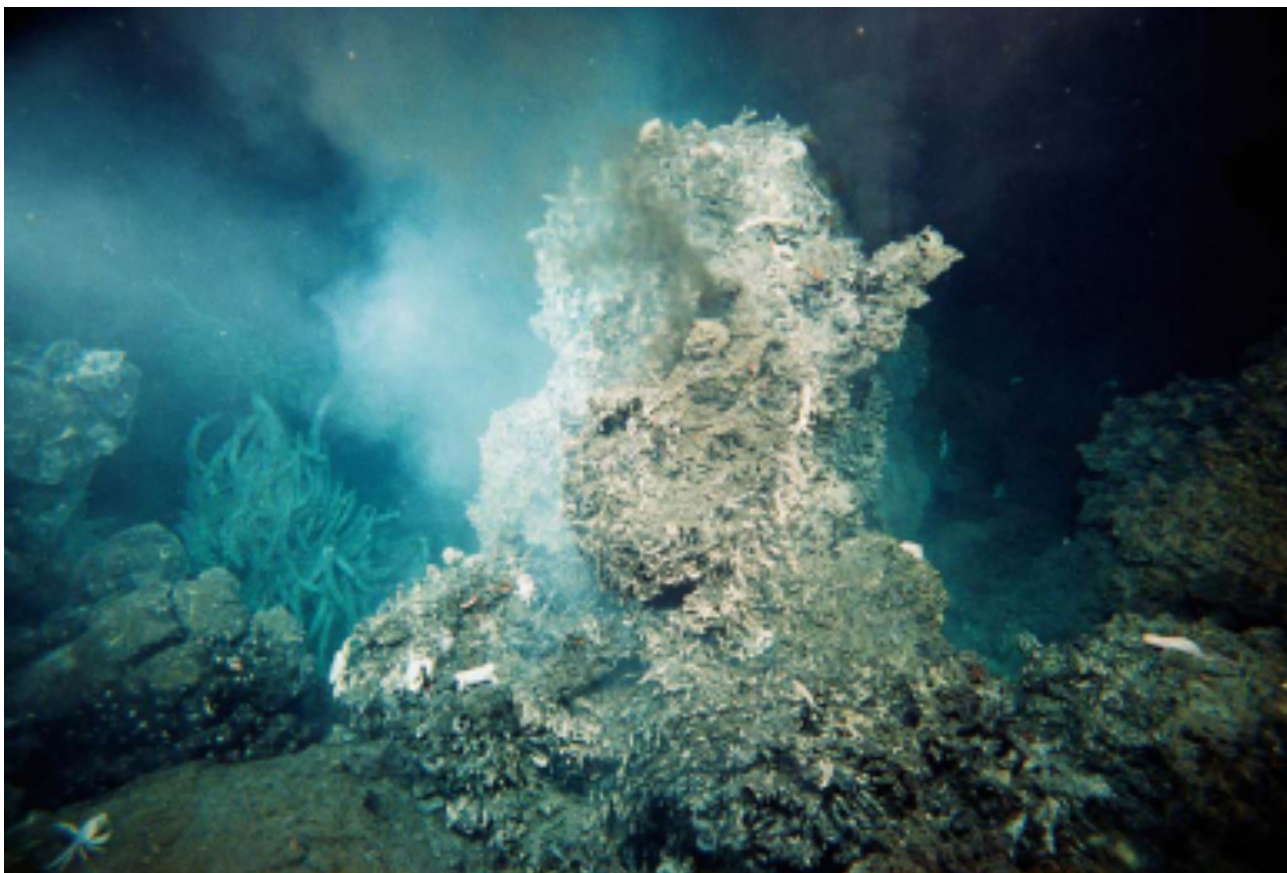
Elämää maapallolla on myös sellaisissa paikoissa, joihin Aurinko ei paista koskaan, kuten valtamerten syvänteissä. Tällaisessa elinympäristössä fotosynteesiä ei voi tapahtua, vaan Auringon valoenergian asemesta tuottajat käyttävät hyväkseen energiaa, jota ne vapauttavat hapettamalla epäorgaanisia yhdisteitä. Vapautuneen energian avulla ne valmistavat vedystä ja hiilidioksidista hiilihydraatteja. Tapahtumaa kutsutaan kemოსynteesiksi.

Kemosynteesin merkitys ekosysteemien energian sitomisessa on yleensä pieni. Poikkeuksena ovat kuitenkin monet valtamerten syvänteet, joissa ainoita ravintoketjujen tuottajia ovat kemოსynteesiin kykenevät arkit ja bakteerit. Niiden sitoman energian varassa elävät kaikki muut syvänteiden eliöt. Kemოსynteesiin kykeneviä bakteereita elää myös maaperässä. Näitä ovat muun muassa maaperän typpi-, rikki- ja rautabakteerit, joilla on tärkeä merkitys aineiden kierrossa.

Rikkibakteerit ovat maapallon vanhimpia omavaraisia eliöitä. Niiden energiansitomisreaktioissa ei kuitenkaan synny hapetta, koska ne käyttävät hapetus-pelkistysreaktioissaan veden asemesta rikkivetyä (H_2S). Rikkibakteereja elää esimerkiksi kuumissa lähteissä.



Sulfidipatsaat eli syvänmeren savuttajat sylkevät uumenistaan jopa 405 °C:sta mineraalipitoista vettä. Syvyyksissä elävät arkit ja bakteerit kykenevät hapettamaan savuttajista tulevia epäorgaanisia yhdisteitä. Bakteereja ja arkkeja taas syövät pohjalla elävät simpukat ja jättiputkimadot.



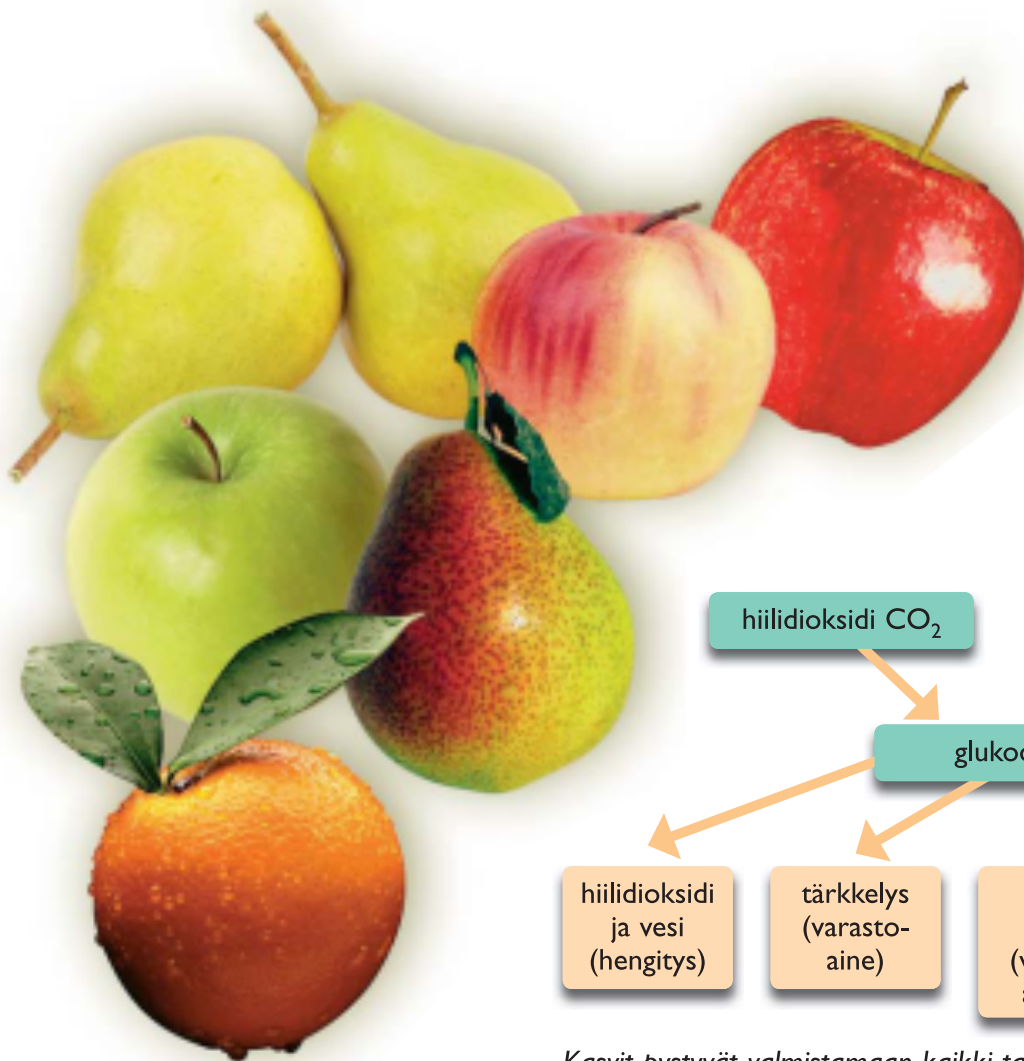
Hiilihydraatit ovat hyviä energialähteitä ja -varastoja

Syödessäsi hedelmiä, pähkinöitä tai porkkanoita syöt itse asiassa aineita, joita kasvit ovat valmistaneet fotosynteesin lopputuotteesta, glukoosista, ja muista aineista. Glukoosi kulkee lehdistä veteen liuenneena johtojänteiden nilaosassa kaikkiin kasvin osiin. Kasvi tarvitsee glukoosia omaksi energialähteekseen mm. kasvuun, lisääntymiseen ja uusien solun osien rakentamiseen. Ylimääräinen glukoosi muuttuu yleensä tärkkelykseksi, joka varastoituu esimerkiksi runkoon, maavarsiin, silmuihin, mukuloihin, siemeniin tai hedelmiin. Tarvittaessa kasvi voi muuttaa tärkkelyksen takaisin glukoosiksi ja käyttää sitä energialähteenään. Glukoosista voi syntyä kasvissa myös muita hiilihydraatteja, kuten esimerkiksi ruokosokeria eli sakkaroosia. Myös kasvien proteiinit ja rasvat syntyvät glukoosista, kun siihen liittyy muita alkuaineita, joita kasvi saa maaperästä ravinteina veden mukana.

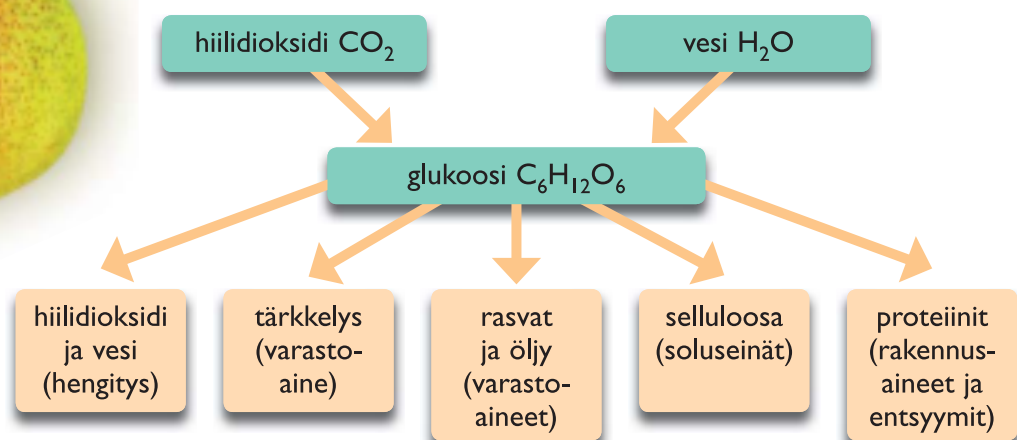
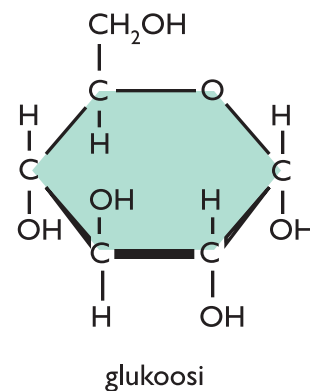
Kasvien fotosynteesissä syntyvä glukoosi ja siitä valmistetut aineet ovat muiden eliöiden ravintoa joko suoraan (kasvinsyöjät ja hajottajat) tai välillisesti (pedot ja hajottajat). Näin kasvien fotosynteesissä sitoma Auringon valoenergia siirtyy muiden eliöiden käyttöön.

Hiilihydraatit rakentuvat hiilestä, vedystä ja hapesta

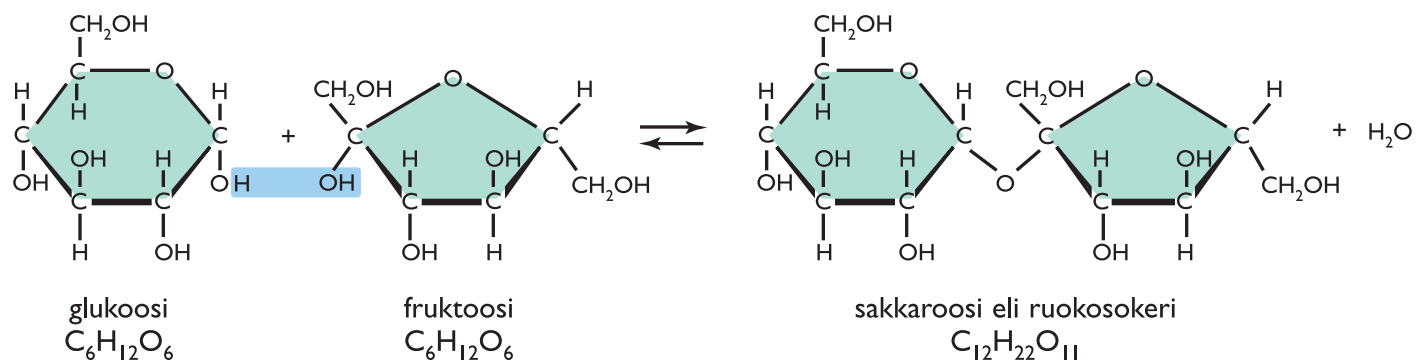
Fotosynteesin lopputuote glukoosi eli rypälesokeri on kuudesta hiiliatomista, kahdestatoista vetyatomista ja kuudesta happiatomista rakentunut yksinkertainen sokeri eli monosakkaridi. Monosakkaridit ovat yksinkertaisimpia hiilihydraatteja. Niissä on vain yksi sokeriyksikkö, jossa voi olla kolmesta kuuteen hiiliatomia. Toinen esimerkki monosakkarideista on fruktoosi eli hedelmänsokeri.



Hiilihydraattivarastoja.



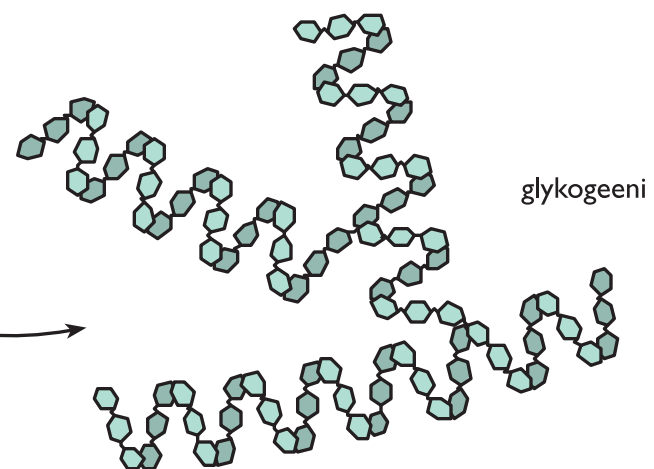
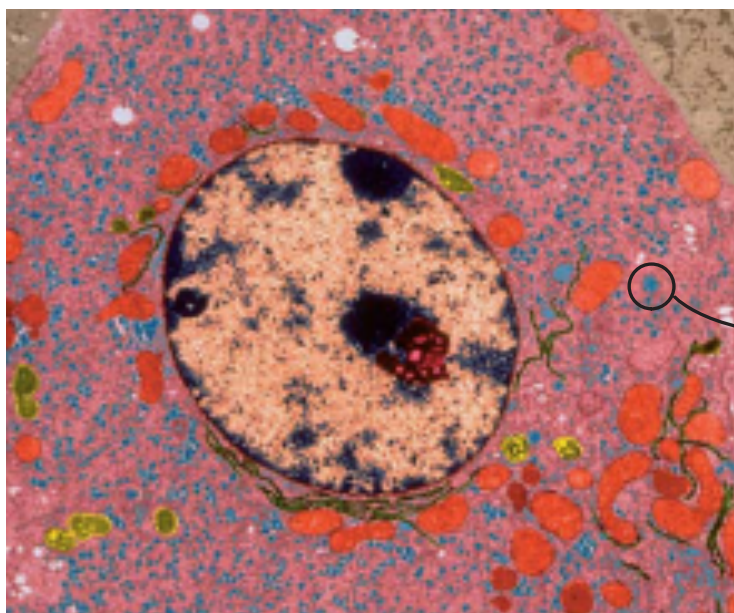
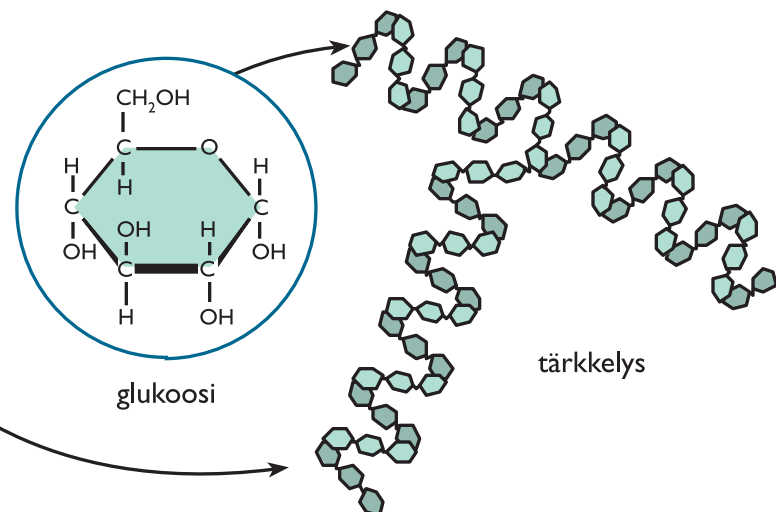
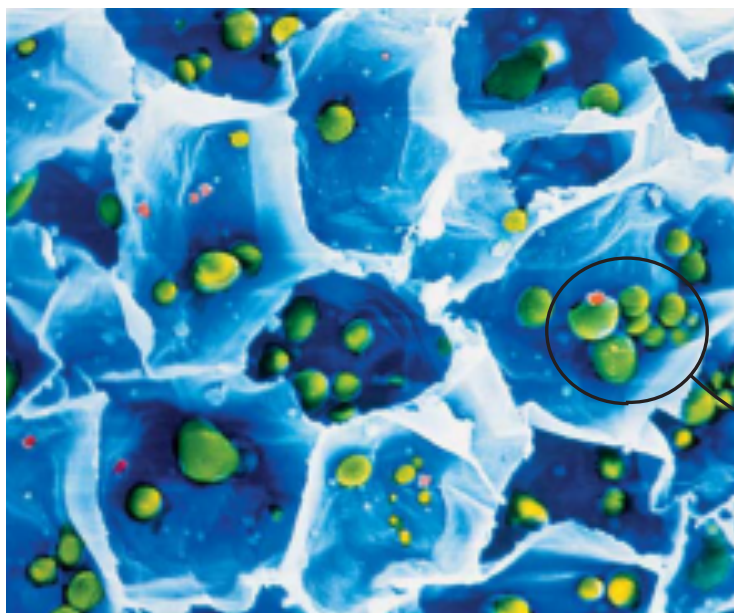
Kasvit pystyvät valmistamaan kaikki tarvitsemansa aineet fotosynteesissä syntyneestä glukoosista ja maaperästä ottamistaan ravinteista.



Sakkaroosi eli ruokosokeri (taloussokeri) on disakkaridi, joka on muodostunut kahdesta sokeriyksiköstä: glukoosi- ja fruktoosimolekyylistä. Viljatuotteiden maltoosi on rakentunut kahdesta glukoosimolekyylistä. Myös laktoosi eli maitosokeri on disakkaridi. Mono- ja disakkarideja kutsutaan yleensä sokereiksi.

Polysakkarideissa sokeriysikköjä voi olla peräkkäin monia, jopa tuhansia. Niiden kaikki sokeriysiköt voivat olla joko samaa sokeria, tai niissä voi olla useita

eri sokereita. Polysakkaridin sokeriysiköistä muodostunut ketju voi olla joko yksinkertainen tai haaroittunut. Kasvisolujen varastohiilihydraatti, tärkkelys, on glukoosimolekyyleistä muodostunut polysakkaridi. Eläinsolujen varastosokeri, glykogeeni on muodostunut monista haaroittuneista glukoosimolekyyleistä. Glykogeeni varastoituu maksa- ja lihassoluihin ja sitä voidaan tarvittaessa muuttaa takaisin glukoosiksi.



Perunan tärkkelys ja maksasolun glykogeeni ovat muodostuneet tuhansista toisiinsa liittyneistä glukoosimolekyyleistä. Tärkkelys on kasvien ja glykogeeni eläinten varastohiilihydraatti.

Solut vapauttavat energiaa kemiallisista sidoksista

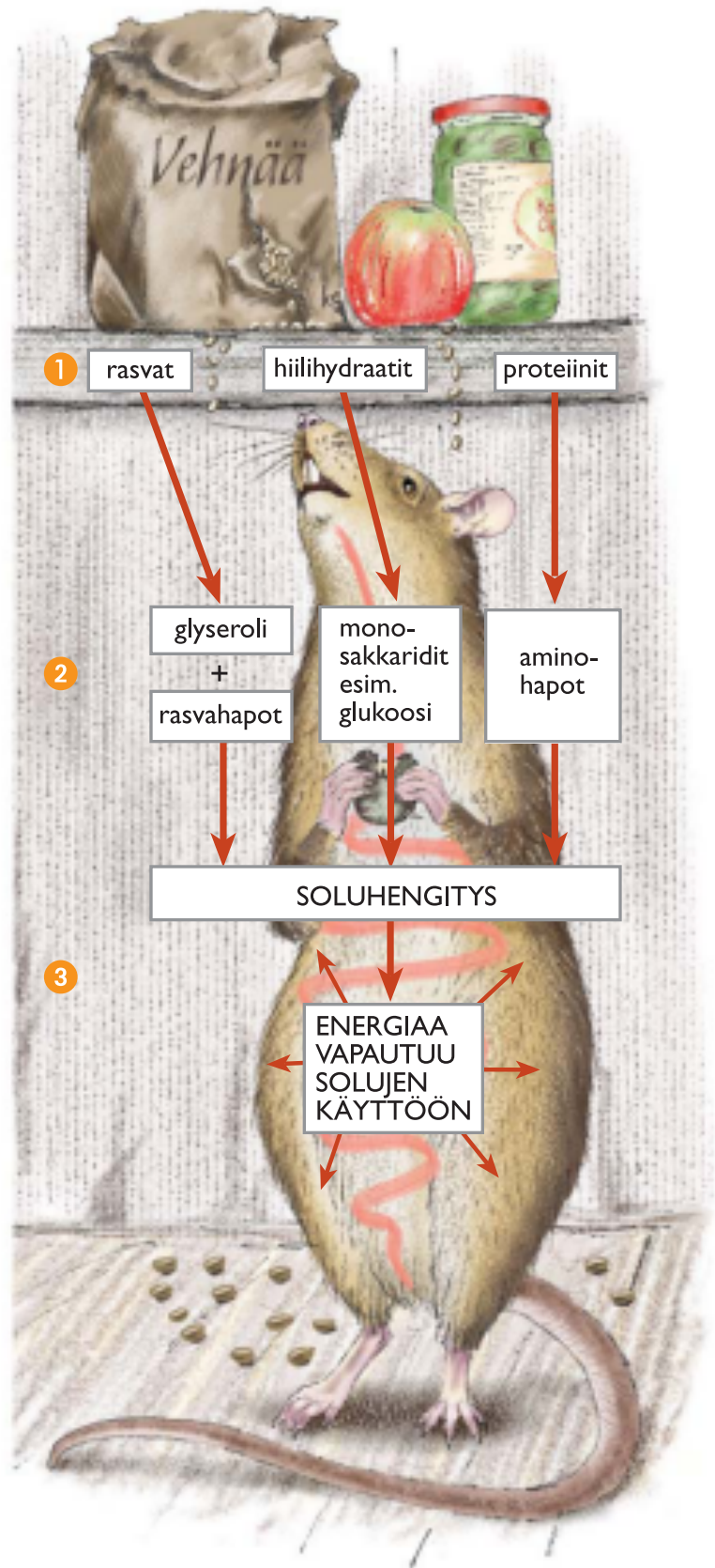
Fotosynteesissä valoenergia sitoutuu glukoosin sisältämäksi kemialliseksi sidosenergiaksi. Kasvit tarvitsevat tätä energiaa elintoimintoihinsa. Jotta kasvisolut saavat käyttöönsä energiaa, se on vapautettava glukosin kemiallisista sidoksista. Toisenvaraiset eliöt saavat energiaa syömästään ravinnosta. Esimerkiksi ihmisen ruuansulatuselimistössä ravintoaineet on ensin pilkottava pienemmiksi molekyyleiksi, ennen kuin solut voivat käyttää niiden sisältämää sidosenergiaa. Energian vapauttaminen solujen käyttöön tapahtuu soluhengityksessä.

Energiaa vapautuu soluhengityksessä

Glukoosi on solujen tavallisin energialähde. Energian vapauttaminen glukosista alkaa solulimassa ja jatkuu mitokondrioissa. Mitokondriot ovat bakteerien kokoisia, vaihtelevan muotoisia soluelimiä. Ne rakentuvat kahdesta ohuesta kalvosta, joista sisempi kalvo on poimuttunut. Soluissa on yleensä noin tuhat mitokondriota, mutta aktiivisesti toimivissa soluissa niitä voi olla moninkertainen määrä.

Energian vapauttaminen glukosista eli soluhengitys on sarja hapetus-pelkistysreaktioita. Hapettuminen tapahtuu pienin askelin, jolloin glukosista vapautuva energia saadaan tehokkaasti talteen. Jos reaktio tapahtuisi kerralla, syntyisi runsaasti lämpöä, eikä energiaa saataisi niin paljon talteen. Reaktioiden lopputuloksena glukosiin fotosynteesissä sitoutunut energia muuttuu ATP-molekyyleihin sitoutuneeksi energiaksi. Reaktiossa syntyy myös vettä ja hiilidioksidia.

Kun glukoosi hajoaa solulimassa (glykolyysi), vapautuu sen sisältämästä energiasta noin 3 %. Mitokondriossa tapahtuvissa reaktioissa vapautuu noin 40 % glukosin energiasta. Loppuosa glukosin energiasta jää soluhengityksen reaktiotuotteisiin sidosenergiaksi sekä vapautuu lämpöenergiana. Juostessa tulee kuuma, ihminen hikoilee ja iho punottaa, koska lihassolut tarvitsevat paljon energiaa, jolloin syntyy myös runsaasti lämpöä.



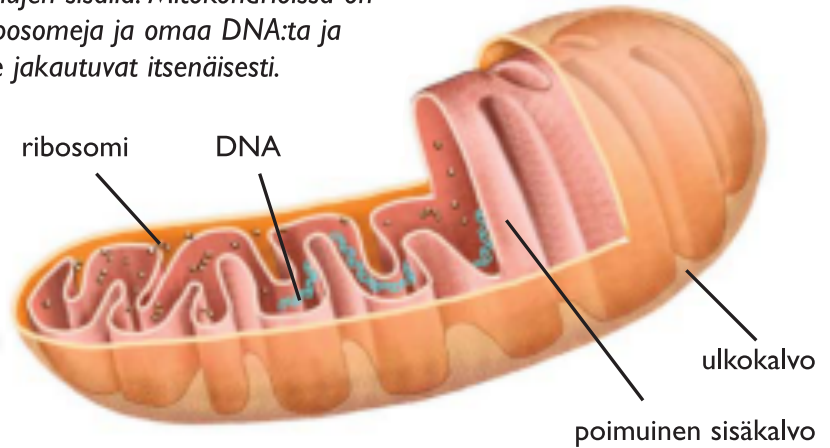
1 Ruuan ravintoaineet sisältävät kemiallista sidosenergiaa. Solujen tärkeimpiä energialähteitä ovat hiilihydraatit ja rasvat. Joskus solut käyttävät myös proteiineja eli valkuaisaineita energialähteenä.

2 Entsyymit pilkkovat ravintoaineet pienemmiksi molekyyleiksi ruuansulatuselimistössä, josta ne imeytyvät verenkiertoon ja veri kuljettaa ne solujen käytettäväksi.

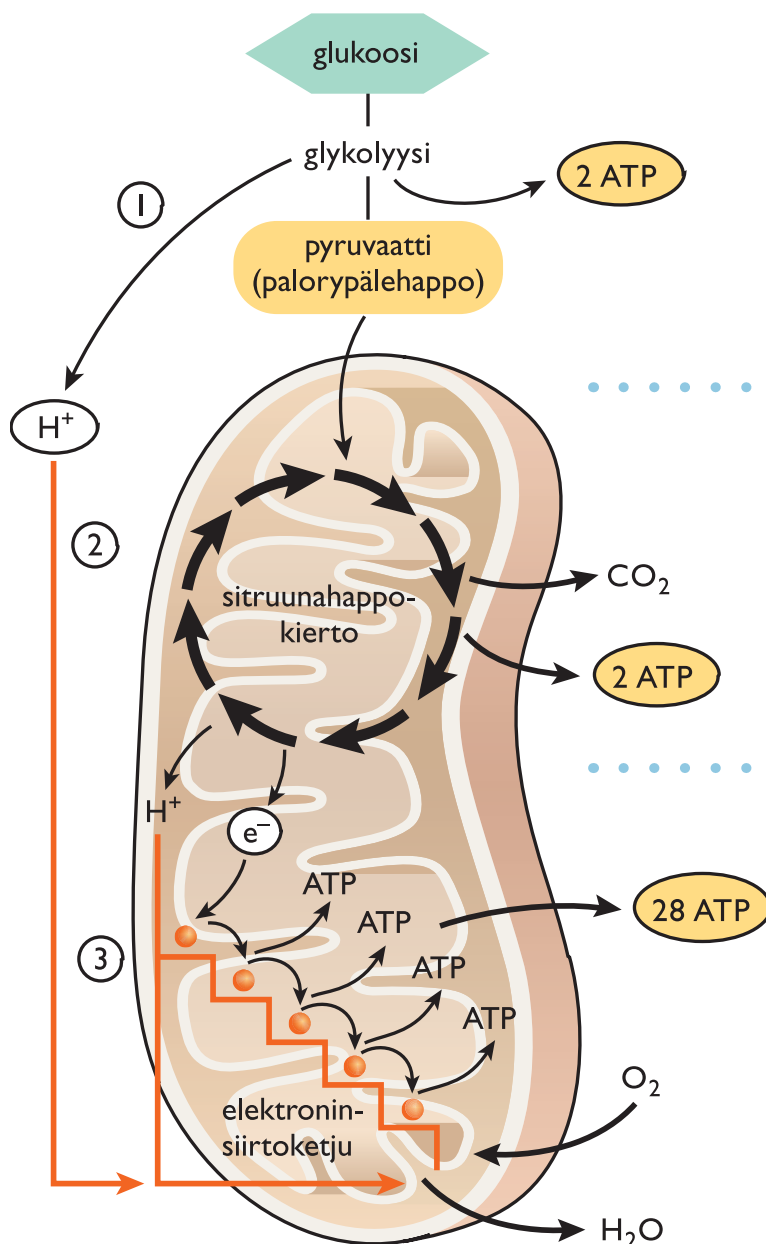
3 Kun solut tarvitsevat energiaa, esim. lihassolu supistumiseen, sitä vapautuu pilkotuista ravintoainemolekyyleistä soluhengityksessä. Käyttämättä jääneet molekyylit varastoituvat soluihin glykokeeninä ja rasvoina.



Mitokondriot ovat kaksinkertaisen kalvon ympäröimiä soluelimiä. Mitokondrioiden arvellaan kehittyneen bakteereista, jotka elivät alunperin symbioosissa alkeellisten, tumallisten solujen sisällä. Mitokondrioissa on ribosomeja ja omaa DNA:ta ja ne jakautuvat itsenäisesti.



glukoosi + happi → hiilidioksidi + vesi + ATP-molekyyleihin sitoutunutta energiaa



Energian vapauttamisessa on kolme vaihetta:

1. Glykolyysi tapahtuu solulimassa. Se on monivaiheinen reaktiosarja, jonka joka vaiheessa tarvitaan eri entsyymiä. Glukoosimolekyyli hajoaa kahdeksi pyruvaattimolekyyliksi, ja samalla vapautuu vetyä. Reaktiossa vapautuu pieni määrä energiaa, joka sitoutuu ATP-molekyyleihin. Glykolyysi on anaerobinen reaktio, eli siinä ei tarvita happea.

2. Glykolyysissä syntyneet pyruvaattimolekyylit kuljetetaan mitokondrion sisälle **sitruunahappokiertoon**. Monimutkaisen reaktiosarjan eri vaiheissa syntyy entsyymien avulla hiilidioksidia sekä vetyioneja (H^+) ja elektroneja (e^-). Lisäksi vapautuu energiaa, joka sitoutuu ATP-molekyyleihin. Hiilidioksidi siirtyy eläimillä soluista veren kuljetettavaksi ja poistuu uloshengityksessä elimistöstä. Kasvit käyttävät hiilidioksidia fotosynteesin lähtöaineena ja poistavat siitä osan ilmarakojen kautta.

3. Soluhengityksen viimeinen vaihe on **elektroninsiirtoketju** mitokondrion sisemmällä kalvolla, johon vedynsiirtäjät kuljettavat glykolyysissä ja sitruunahappokierrossa syntyneet vetyatomit, jotka ovat hajonneet vetyioneiksi (H^+) ja elektroneiksi (e^-). Kalvostolle sitoutuneet ns. elektroninsiirtäjät kuljettavat vedyltä saadut elektronit siirtäjältä toiselle. Aivan viimeiseksi happi ottaa vastaan vedyn elektronit eli pelkistyy ja muodostaa vedyn kanssa vettä. Happi on siis välttämätön soluhengityksen tässä vaiheessa, joten soluhengitys on aerobinen reaktio. Elektroninsiirtoketjun hapetuspelkistysreaktioiden sarja tuottaa runsaasti energiaa, joka sitoutuu syntyviin ATP-molekyyleihin. Yhden glukoosimolekyylin pilkkoutuminen soluhengityksen eri vaiheissa tuottaa 30–32 ATP-molekyyliä.

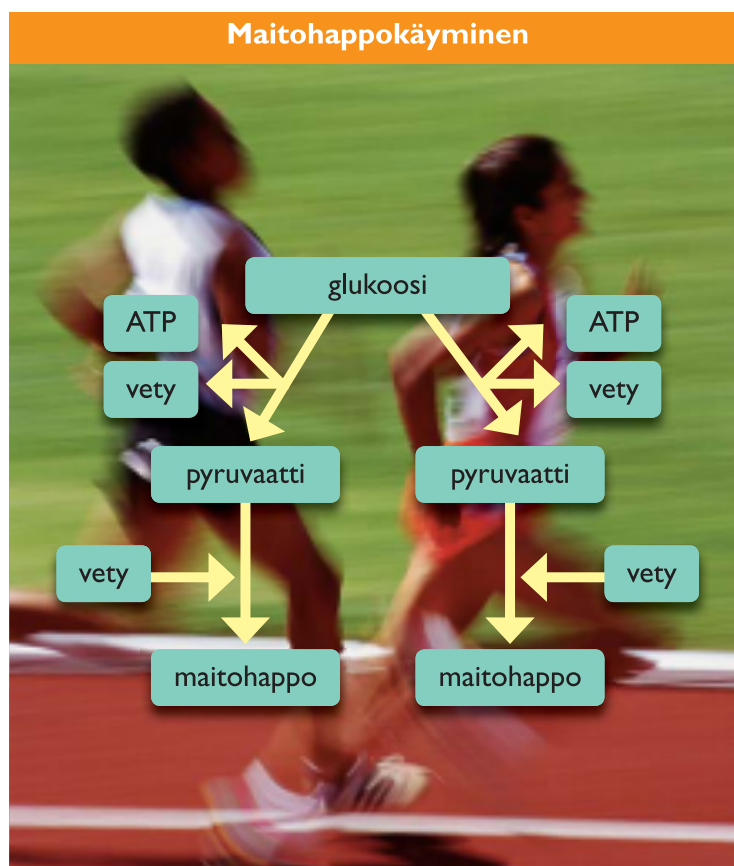
Hapettomissa oloissa solut vapauttavat energiaa käymisreaktioissa

Soluhengitys voi edetä loppuun asti vain, kun happea on solujen käytössä. Jos esimerkiksi raskaassa urheilusuorituksessa hengityselimistö ei pysty toimittamaan lihassoluille riittävästi happea, soluhengitys ei etene glykolyysiä pidemmälle. Tällöin syntyy yhdestä glukoosimolekyylistä vain kaksi ATP-molekyyliä, ja vapautuvan energian määrä on erittäin vähäinen verrattuna siihen, jos happea on saatavilla ja kaikki soluhengityksen reaktiot voivat tapahtua. Hapen puuttuessa pyruvaattihappoihin liittyy vetyä ja syntyy maitohappoa. Tätä tapahtumaa kutsutaan maitohappokäymiseksi. Maitohappoa kertyy lihaksiin ja lihas väsy. Vähitellen lihasten suorituskyky palautuu, kun maitohappo poistuu verenkiertoon ja maksa palauttaa osan siitä glukoosiksi. Hapen saannin parantuessa soluhengitys käynnistyy taas lihassoluissa.

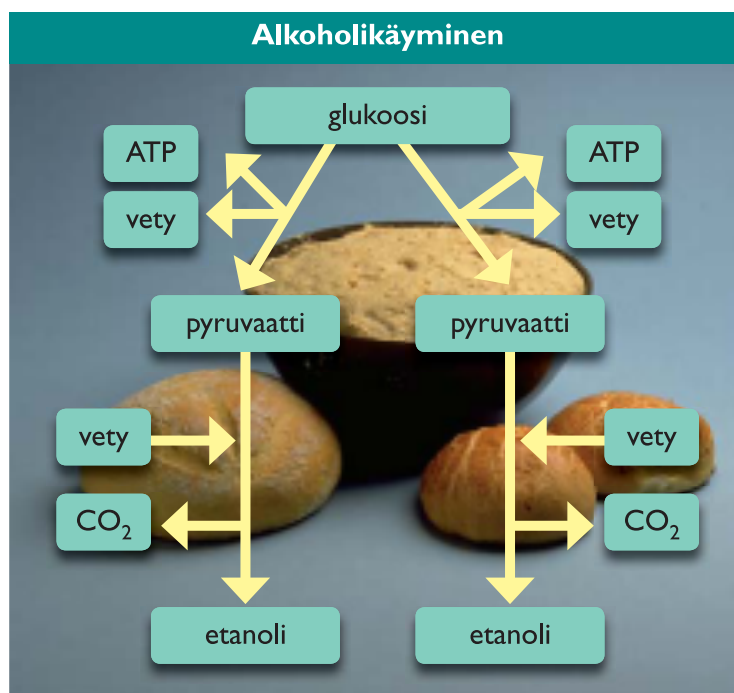
Hiivasolut ja jotkin bakteerit vapauttavat energiaa hapettomissa oloissa alkoholikäymisen avulla. Siinä glykolyysissä syntyneistä pyruvaateista irtoaa hiilidioksidia, ja jäljelle jääviin osiin liittyy vetyä. Lopputuotteena syntyy etanolia.



Useimmat selkärangaiset kuolevat hapenpuutteen vuoksi muutamassa minuutissa. Ruutana voi selvitä talven yli lammen pohjassa, josta happivarastot on kulutettu loppuun. Hapettomissa oloissa ruutana pystyy vapauttamaan energiaa soluissaan alkoholikäymisessä. Siinä vapautuu vain vähän energiaa, mutta se riittää, koska ruutana ei juurikaan liiku talvella.



Juoksun aikana juoksijan lihassolut tarvitsevat supistumiseensa paljon energiaa, jota ne saavat ATP-molekyyleihin sitoutuneesta energiasta. Jos hengitys- ja verenkiertoelimistö pystyvät toimittamaan lihassoluille riittävästi happea, niiden ATP-akut latautuvat soluhengityksessä. Kun juoksijan hapenottokyky on liian alhainen tai kyseessä on nopea urheilusuoritus, lihassolujen ATP-akkujen lataaminen tapahtuu maitohappokäymisessä.



Leipätaikinan kohottamisessa käytetään leivinjauetta. Taikinan pinnalla hapekkaissa oloissa hiivasolut hajottavat taikinan sisältämät sokerit soluhengityksessä, kun taas taikinan sisällä hapettomissa oloissa sokerit hajoavat alkoholikäymisessä. Reaktioissa syntyneet hiilidioksidikuplat saavat taikinan kohoamaan. Alkoholikäymisessä syntynyt alkoholi häviää taikinasta leivän paistuesssa uunissa.

TEHTÄVÄT

1. Mitkä seuraavista väittämistä ovat oikein ja mitkä väärin?

Korjaa väärät väittämät oikeiksi.

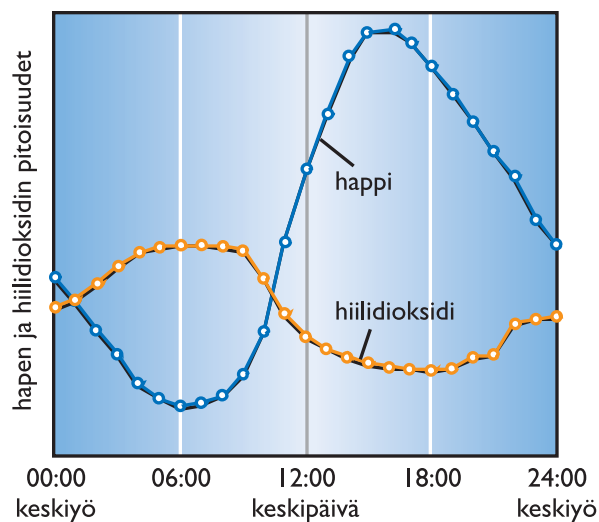
- Soluhengitystä tapahtuu vain eläinsoluissa.
- Soluhengitystä tapahtuu kasvisoluissa vain yöllä.
- Fotosynteesissä energiaa sitoutuu.
- Soluhengityksessä energiaa vapautuu.
- Hapettomissa oloissa energiaa vapautuu eläinten soluissa alkoholikäymisessä.
- Soluhengityksessä syntyy vettä ja hiilidioksidia.
- Maitohappokäymisen lopputuotteena syntyy glukoosia.
- Soluhengitys on tehokkaampi tapa vapauttaa energiaa kuin maitohappokäyminen.
- Fotosynteesin lähtöaineita ovat vesi ja happi.
- Fotosynteesiä tapahtuu vain valossa.

2. Pienen lammen veden happi- ja hiilidioksidipitoisuudet vuorokauden aikana

Lammessa kasvaa paljon vesikasveja. Diagrammissa on kuvattu lammen veden happi- ja hiilidioksidipitoisuuksia yhden vuorokauden aikana.

Vastaa diagrammin perusteella seuraaviin kysymyksiin:

- Milloin hapen määrä alkaa nousta ja milloin nousu lakkaa? Selitä, miksi näin tapahtuu.
- Miten hiilidioksidin määrä vaihtelee lammen vedessä? Miksi?



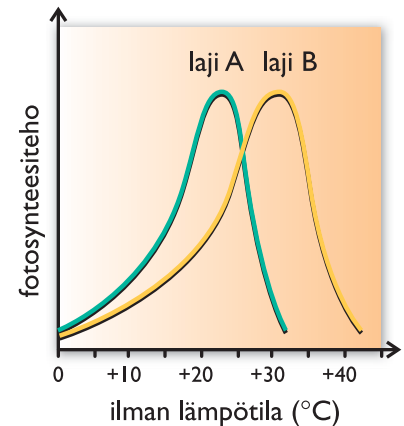
3. Ilmarakojen merkitys kasville

- Mitkä aineet siirtyvät kasvin lehtiin ja mitkä sieltä pois ilmarakojen kautta?
- Miksi fotosynteesin teho laskee kasvin ilmarakojen ollessa kiinni?

4. Lämpötilan vaikutus fotosynteesiin

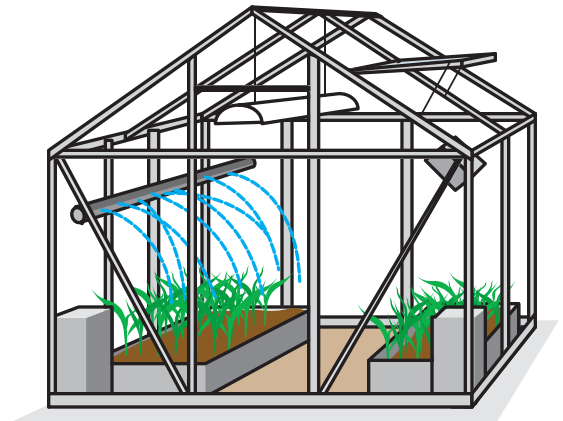
Vastaa diagrammin perusteella, miten lämpötila vaikuttaa kasvien fotosynteesitehoon.

Mistä lajien A ja B ero johtuu?



5. Ihanteelliset kasvuolosuhteet

Kauppapuutarhuri haluaa saada kasvihuoneensa kasvit kukoistamaan ja tuottamaan mahdollisimman suuren sadon. Mitä kaikkia tekijöitä hänen tulee ottaa huomioon?



6. Miten seuraavat solut saavat tarvitsemansa energian?

- kissan lihassolu
- kissankellon lehden solu
- kissankellon juuren solu
- jäkälän leväosakkaan solu
- jäkälän sieniosakkaan solu
- hajottajabakteerin solu

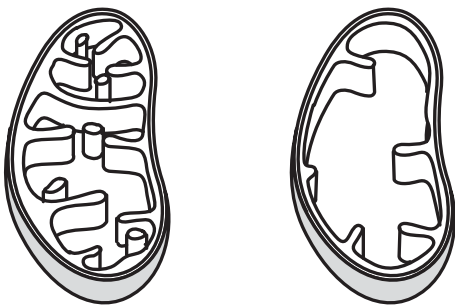
7. Hiivasoluviljelmät



Kahta hiivasoluviljelmää kasvatettiin +25 °C:n lämpötilassa, toista aerobisissa, toista anaerobisissa oloissa. Kummassakin oli aluksi 2 g hiivaa ja 2 g glukoosea. Taulukossa on vertailtu tilannetta 4 tunnin kuluttua.

	Viljelmä A	Viljelmä B
Kuluneen hapen määrä	0,75 l	0
Tuotetun hiilidioksidin määrä	0,74 l	0,23 l
Tuotetun alkoholin määrä	0	0,46 l
Tuotetun hiivamassan määrä	0,6 g	0,02 g

- Kumpi viljelmistä oli aerobinen? Perustele valintasi.
- Tulkitse viljelmien A ja B eroja. Kuvaille, millaisia reaktioita on tapahtunut viljelmien hiivasoluissa.
- Mikä mainittujen aineenvaihduntareaktioiden kannalta keskeinen soluelin on kuvassa? Miksi sen rakenne on erilainen eri viljelmissä?



8. Mitokondriot ja viherhiukkaset



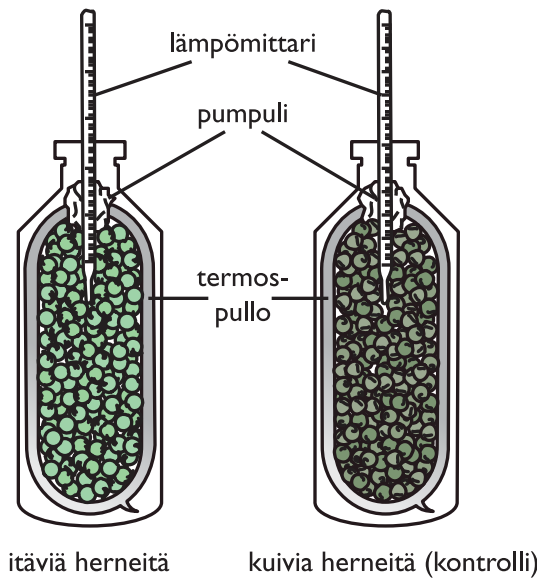
Vertaa mitokondrioita ja viherhiukkasia toisiinsa. Mitä yhtäläisyyksiä ja eroja niiden rakenteessa ja toiminnassa on? Miten viherhiukkaset ja mitokondriot liittyvät varhaisten eliöiden evoluutioon?

9. Miten lämpötila muuttuu herneiden itäessä?

Tarvikkeet

2 termospulloa
2 lämpömittaria
vanua
herneitä (itäviä ja kuivia)

Täytä toinen termospullo itävillä herneillä ja toinen kuivilla herneillä. Työnnä herneiden sekaan lämpömittarit ja eristä termospullojen suut vanulla. Seuraa lämpötilaa kummassakin termospullossa pari vuorokautta. Selitä pullojen lämpötilaero.



10. Fotosynteesin osoittaminen

Tarvikkeet

vesiruttoa (*Elodea sp.*)
2 keitinlasia
2 lasisuppiloa
preparointiveitsi
valonlähde (esim. pöytälamppu)
vichyvettä tai natriumvetykarbonaatti-
jauhetta (NaHCO_3)
merkkauksynä

- Käytä työssä edellisenä päivänä astiaan valutettua vettä.
- Merkitse keitinlasit kirjaimilla A ja B. Täytä keitinlasi A vedellä ja keitinlasi B puoleksi vedellä ja puoleksi vichyvedellä.
- Katkaise vesirutosta 2 versoa preparointiveitsellä ja laita versot katkaisupuoli ylöspäin suppiloihin.
- Aseta suppilot keitinlaseihin kuten kuvassa.



- Valaise kasveja valonlähteellä ja seuraa, mitä tapahtuu.
- Kirjoita johtopäätökset havainnoistasi.

11. Sokeripitoisuuden vaikutus leivinihiivan toimintaan

Tarvikkeet
leivinihiivaa
taloussokeria
isoja koeputkia
kumikorkkeja, joissa on muoviletku
lämpömittari
kaasupoltin
kolmijalka
verkkolevy
iso ja pieni keitinlasi

Leivinihiivan soluissa energian vapauttaminen tapahtuu soluhengityksessä, kun happea on saatavilla. Hapettomissa oloissa energian vapauttaminen tapahtuu alkoholikäymisessä. Sekä soluhengityksessä että alkoholikäymisessä syntyy hiilidioksidia. Tässä työssä syntyvän hiilidioksidin määrää tutkitaan laskemalla muodostuvien kaasukuplien määrä.

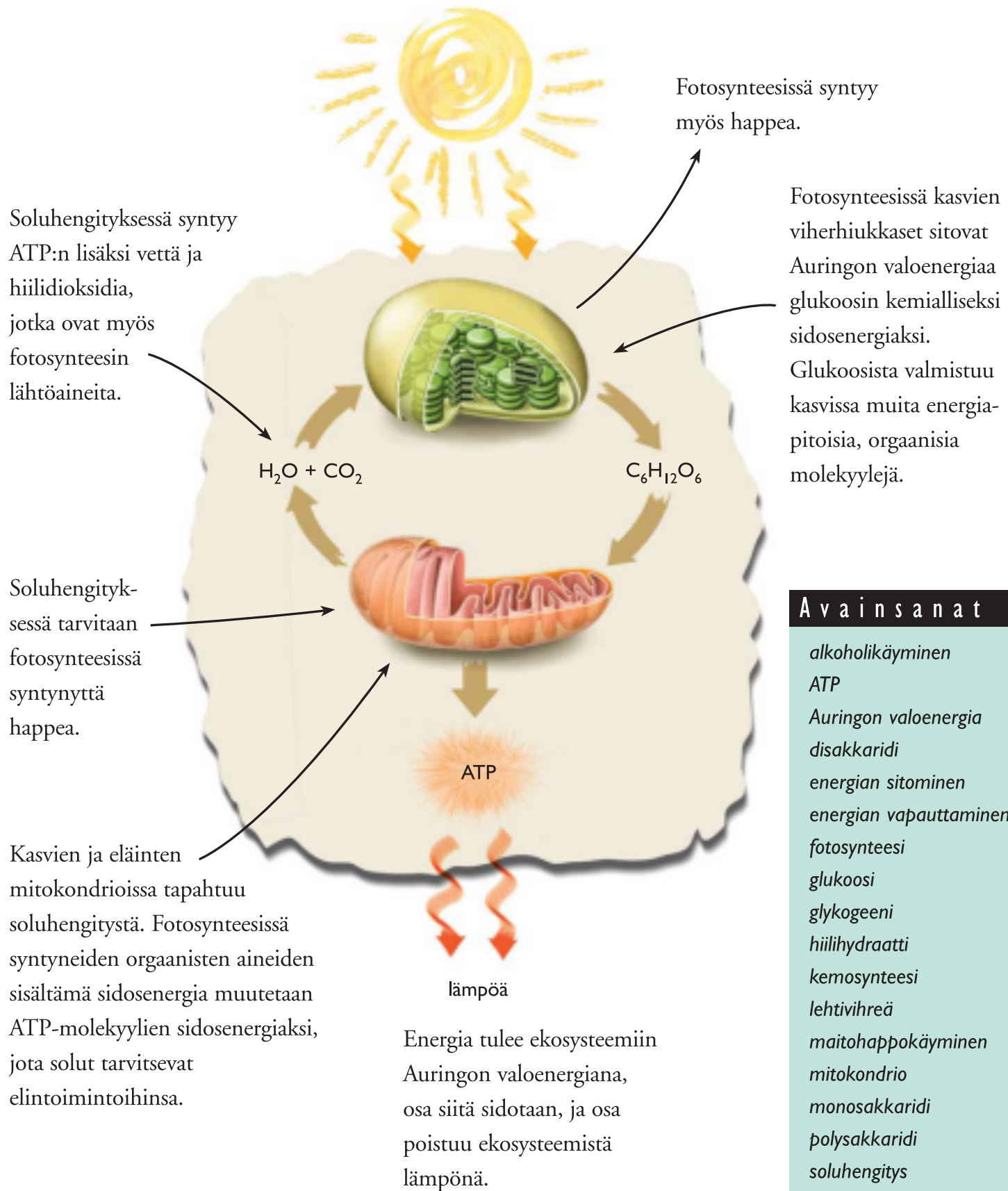
- 1. Jokainen työpari tutkii hiivan toimintaa eri sokeripitoisuuksilla seuraavasti: 0 g, 2 g, 5 g, 10 g, 15 g ja 20 g.
- 2. Valmista + 45° C:n vesihaude kaasupolttimen avulla. Pidä lämpötila tasaisena koko työn ajan.
- 3. Laita koeputkeen sokeri ja 5 g hiivaa. Täytä koeputki noin puolilleen kädenlämpöisellä vedellä ja sekoita.
- 4. Sulje koeputki korkilla ja aseta se pystyyn vesihauteeseen. Anna ilmaletkun pää olla ilmassa 5 minuuttia, jotta lämpötila- ja paine-erot tasoittuvat. Katso kuvaa.
- 5. Laadi hypoteesi, millä sokeripitoisuudella hiivan toiminta on aktiivisinta.
- 6. Laadi tuloksia varten mallin mukainen taulukko, johon kaikkien työparien tulokset yhdistetään.

- 7. Upota ilmaletkun pää lämpöhauteen viereen vedellä täytettyyn keitinlasiin. Ilmaletkusta alkaa tulla hiilidioksidikuplia. Laske viidentoista minuutin ajan syntyvien kuplien määrä minuutin pätkissä.
- 8. Kirjaa omat tuloksesi taulukkoon ja lisää siihen myös muiden työparien tulokset.
- 9. Laadi tuloksista diagrammi. Laadi diagrammi siten, että lisäät jokaisen laskentakerran kuplien määrän edelliseen mittaustulokseen.
- 10. Tarkastele tuloksia. Vastaavatko ne hypoteesia? Selitä tulosten perusteella, miten sokeripitoisuus vaikuttaa hiivan toimintaan.



min g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0															
2															
5															
10															
15															
20															

Fotosynteesissä tarvittava energia on lähtöisin Auringon valoenergiasta.



A v a i n s a n a t

alkoholikäyminen
ATP
Auringon valoenergia
disakkaridi
energian sitominen
energian vapauttaminen
fotosynteesi
glukoosi
glykokeeni
hiilihydraatti
kemosynteesi
lehtivihreä
maitohappokäyminen
mitokondrio
monosakkaridi
polysakkaridi
soluhengitys
tärkkelys
viherhiukkanen

A close-up photograph of a woman with light brown hair tied back, wearing a white headband. She is looking slightly to the left and applying a white cream to her right cheek with her index finger. The background is softly blurred, showing hints of an indoor setting with warm lighting.

3.

Solu ottaa ja poistaa aineita

Soluhengitys ja fotosynteesi tapahtuvat solujen sisällä. Kuinka niissä tarvittavat happi ja hiilidioksidi pääsevät soluihin ja soluista pois? Miten glukoosi siirtyy soluihin esimerkiksi ihmisen ruuansulatuskanavasta? Kuinka on mahdollista, että matkapahoinvointi voidaan ehkäistä laastarilla? Entä kuinka ihovoiteiden sisältämät aineet pääsevät soluihimme?

Solukalvo on solun suoja ja portti

Kaikkien eliöiden soluja ympäröi solukalvo. Sen ulkopuolella voi olla lisäksi soluseinä, joka kasvisoluilla rakentuu pääosin selluloosasta. Solut tarvitsevat sekä energiaa että raaka-aineita esimerkiksi soluhengitykseen ja yhteyttämiseen. Solut valmistavat raaka-aineista erilaisia yhdisteitä. Valmistamisen yhteydessä syntyy aineita, joista osa on tarpeettomia ja osa haitallisiakin.

Ne poistuvat solusta tai varastoituvat siihen. Solukalvon on siis läpäistävä aineita, mutta toisaalta sen on oltava riittävän tehokkaana suojana, jotta solu pysyy toimintakykyisenä. Jos solua verrataan tehtaaseen, solukalvo toimii tehtaan raja-aitana ja tehtaanporttina. Sen tehtävänä on huolehtia, että aineet pääsevät sisään ja ulos juuri oikealla tavalla.

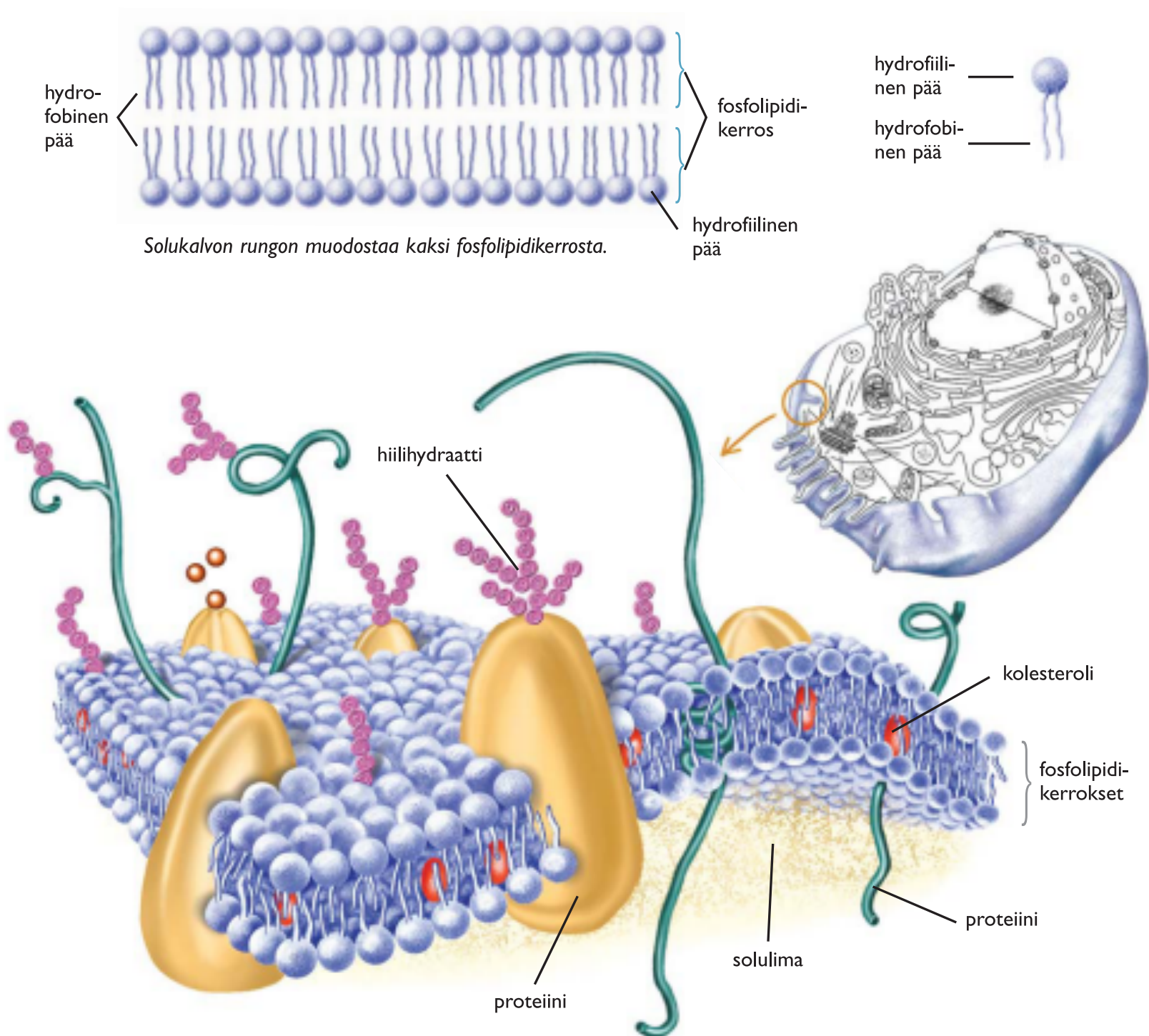
Lipidit ovat solukalvon rakenneosia

Lipidit eli rasva-aineet ovat melko yksinkertaisia orgaanisia molekyylejä. Ne koostuvat yleensä hiilestä, vedystä ja hapesta. Yhteistä erilaisille lipideille on, että ne liukenevat huonosti veteen. Veden ja lipidin välille jää selvä rajapinta. Lipideillä on soluissa eri tehtäviä. Eliöissä esiintyviä tyypillisiä lipidejä ovat 1) fosfolipidit, 2) triglyseridit, 3) steroidit ja 4) karotenoidit.

Fosfolipidit ovat tärkeimpiä solujen kalvorakenteiden rakennusaineita. Fosfolipidien toinen pää on sähköisesti varautunut, mutta toinen pää ei. Säh-

köisesti varautunut pää on vettä kohti hakeutuva eli hydrofiilinen, kun taas toinen pää on vettä karttava eli hydrofobinen. Niinpä fosfolipidit asettuvat veteen tai vesiliuokseen joutuessaan siten, että muodostuu kaksikerroksinen kalvo.

Muodostuvassa kaksikerroksisessa kalvossa vettä karttavat päät asettuvat keskelle toisiaan vasten, ja ulkopuolelle jäävät vettä kohti hakeutuvat päät. Fosfolipidien ominaisuudet ovat siis ihanteelliset muodostamaan vesiliuoksissa kalvojen rakennusaineen. Tällä ominaisuudella oli tärkeä merkitys evoluutiossa, kun ensimmäiset alkeelliset solut muodostuivat ja alkoivat kehittyä yhä monimutkaisemmiksi.



Solukalvon rakenne.

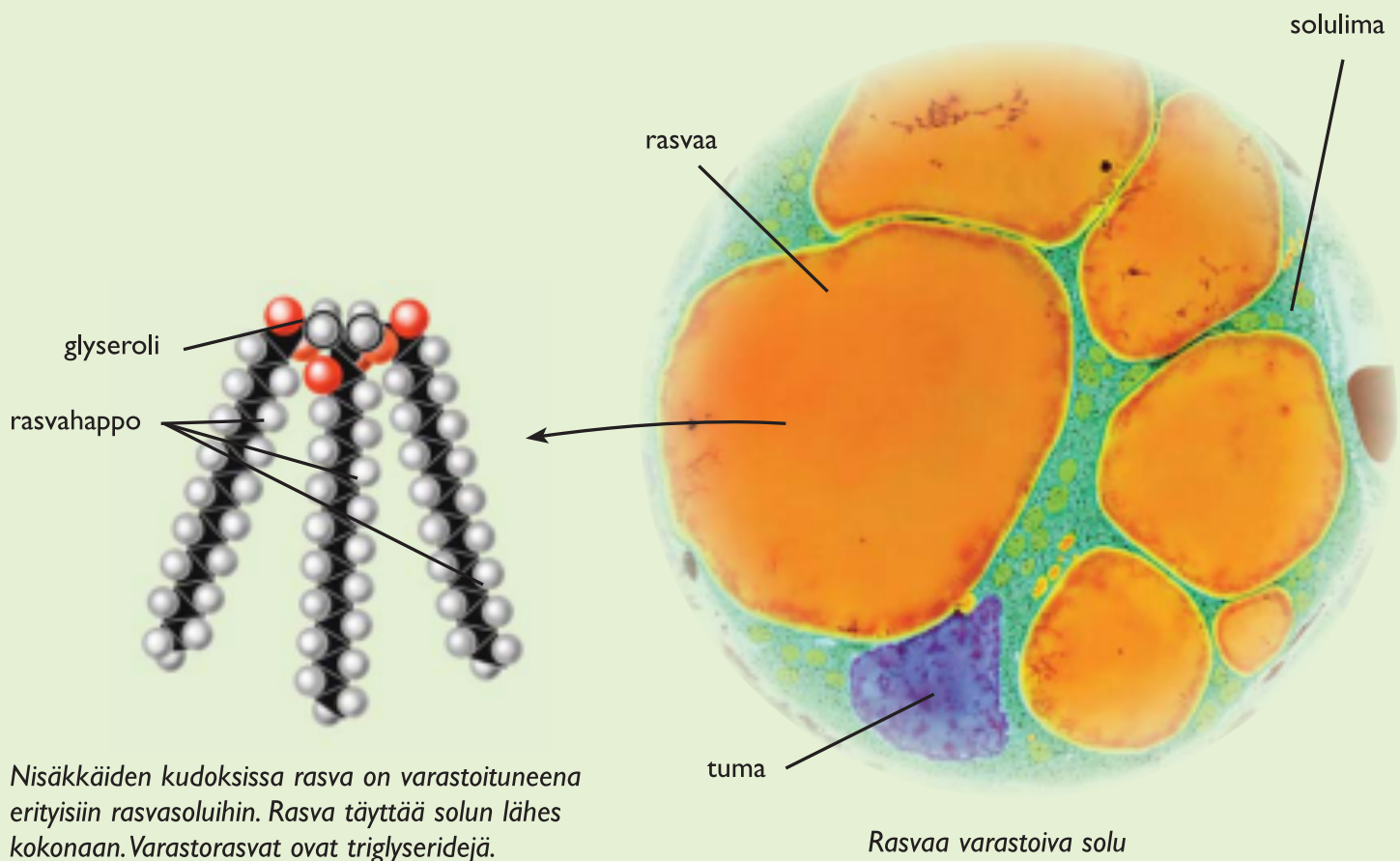
RASVA-AINEILLA ON MONIA TEHTÄVIÄ

■ Steroideista yleisin on kolesteroli. Kolesterolia on ihmisellä solukalvossa, keskushermostossa ja esimerkiksi sappinesteessä. Monet hormonit, kuten sukupuolihormonit, ovat myös steroideja. Karotenoidit ovat keltaisia ja punaisia, erityisesti kasveissa esiintyviä väriaineita. Nämä väriaineet osallistuvat yhteyttämiseen.

Triglyseridejä kutsutaan arkikielessä tuttavallisesti rasvoiksi. Ne sisältävät runsaasti energiaa painoyksikköä kohti, ja siksi ne ovatkin tärkeä eliöiden energia-varasto. Suurin osa ravinnon rasvoista on triglyseridejä. Ne ovat muodostuneet glyserolimolekyylistä ja kolmesta rasvahappomolekyylistä.

Tyydyttyneen rasvahapon hiiliketjussa on ainoastaan yksinkertaisia sidoksia. Tyydyttymättömässä rasvahapossa on myös kaksoissidoksia. Rasvojen kemiallinen luonne vaikuttaa niiden olomuotoon ja ominaisuuksiin. Nisäkkäiden ja lintujen varastorasvat ovat yleensä tyydyttyneitä ja kasvien varastorasvat tyydyttymättömiä. Eron tyydyttymättömyyden kasvirasvaan huomaa huoneenlämmössä. Kasvirasvat, kuten oliiviöljy, ovat huoneenlämmössä yleensä nestemäisiä ja eläinrasvat kiinteitä. ■

Voi, oliiviöljy ja rypsiöljy ovat kaikille tuttuja aineita, rasvoja. Kun niitä sekoitetaan veteen, huomataan niiden muodostavan rasvapisaroita tai ohuen, kiiltelevän kalvon veden pinnalle. Nämä rasvat ovat yksi lipidien eli rasva-aineiden ryhmä.



Solukalvo toimii ja muuttuu jatkuvasti

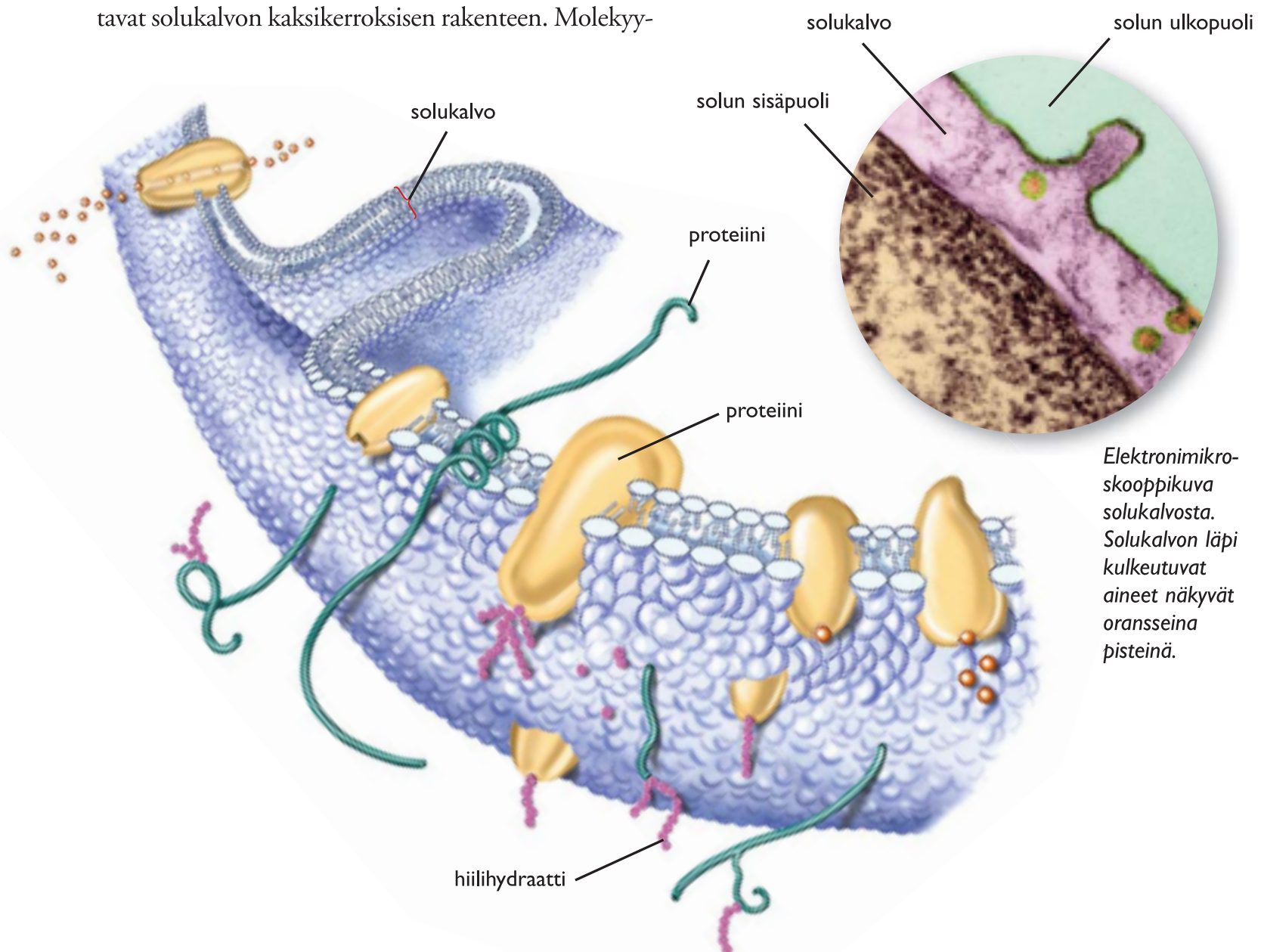
Solukalvo rajaa solun sisäisen tilan ulkopuolisesta ja pitää solun olosuhteet oikeanlaisina. Se ei kuitenkaan ole mikään eloton paketoitikalvo, vaan monimutkainen, aktiivisesti toimiva ja muuttuva biologinen rakennelma. Kalvorakenteiden, erityisesti solukalvon, kehittyminen evoluution kuluessa oli edellytys yhä monimutkaisempien solujen syntymiselle.

Solukalvo huolehtii solun aineiden otosta ja poistosta. Se toimii myös monien kemiallisten reaktioiden tapahtumapintana. Solukalvon proteiinien avulla elimistö tunnistaa omat ja vieraat solut. Solukalvo on tärkeä myös elimistön omien solujen väliselle vuorovaikutukselle ja yhteistoiminnalle; se toimii viestien välittäjänä solun ulko- ja sisäpuolen välillä.

Kuten jo aiemmin todettiin, fosfolipidit muodostavat solukalvon kaksikerroksisen rakenteen. Molekyy-

lien vesipakoiset päät ovat toisiaan vasten. Yksittäisten molekyylien välillä ei ole vahvoja kemiallisia sidoksia, vaan ne voivat liikkua melko vapaasti suhteessa toisiinsa. Sekä lipidi- että proteiinimolekyylit voivat liukua kalvolla. Näin solukalvon muoto voi muuttua ilman, että se vaurioituu. Solukalvossa oleva kolesteroli sitoo molekyyliä toisiinsa, joten kalvo pysyy kiinteänä.

Kalvoproteiinit ovat uponneena jommalle kummalle puolelle lipidikerroksia tai ulottuvat kerrosten läpi. Ne ikään kuin kelluvat lipidien muodostamassa ”rasvameressä”. Proteiinit voivat liikkua kalvossa hyvinkin nopeasti paikasta toiseen. Kalvoproteiineilla on monenlaisia tehtäviä. Ne toimivat entsyymeinä, aineiden kuljettajina, viestien vastaanottajina eli reseptoreina tai ionikanavina. Kalvoproteiineja on myös muissa kalvorakenteisissa soluelimissä, kuten mitokondrioissa ja viherhiukkasissa.



Elektronimikroskooppikuva solukalvosta. Solukalvon läpi kulkeutuvat aineet näkyvät oransseina pisteinä.

**Kalvoproteiinien tyypit
niiden toiminnan mukaan**

Kalvoproteiini	Toiminta
Kuljettajaproteiinit	Kuljettavat aineita kalvon läpi.
Rakenneproteiinit	Solukalvon rakenneosia.
Kiinnittymisproteiinit	Mahdollistavat solujen kiinnittymisen toisiinsa.
Reseptoriproteiinit	Viestien vastaanotto.
Ionikanavat	Ionien kulku esim. hermosolussa.

Solukalvon tehtävät

Rajaa solua, toimii mekaanisena tukena.
Ylläpitää solunsisäisiä olosuhteita sellaisina, että solun aineenvaihduntareaktiot pystyvät tapahtumaan.
Valikoi solun sisään otettavat ja solusta poistettavat aineet.
Välittää vastaanottaja- eli reseptorimolekyylien vastaanottamat viestit solulimaan ja tumaan.
Solukalvon pintamolekyylit toimivat solujen tunnistamisessa.
Solujen väliset liitokset muodostuvat solukalvon avulla.
Osallistuu solujen väliseen viestintään ja yhteistoimintaan.

**Osa aineista kulkeutuu
solukalvon läpi, osan kuljetus
vaatii energiaa**

Solukalvo päästää toisia aineita soluun tai solusta pois ja pitää toiset aineet sen sisä- tai ulkopuolella. Yksittäisen aineen kuljetustapa riippuu aineen pitoisuudesta, sen kemiallisesta koostumuksesta, sen sähköisestä varauksesta ja molekyylien koosta. Jotkut aineet voivat liikkua vapaasti kalvon läpi, joidenkin liikkuminen vaatii erityisiä kuljetustapoja. Solukalvo on siis valikoivasti puoliläpäisevä kalvo.

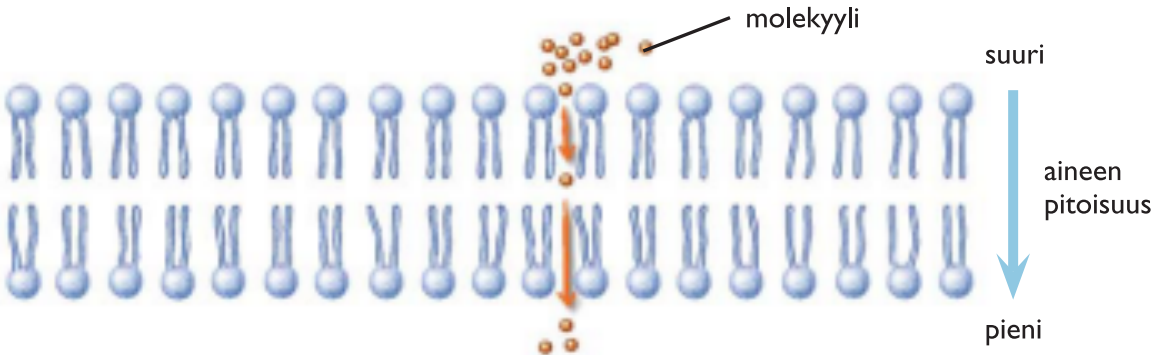
**Passiivisessa kulkeutumisessa
ei tarvita energiaa**

Jos laitat vaikkapa karamelliväriä veteen etkä sekoita sitä, huomaat kuitenkin veden värin muuttuvan vähitellen. Tämä on seurausta molekyylien sattumanvaraisesta lämpöliikkeestä, jonka seurauksena aineet sekoittuvat. Aineen siirtymistä suuremmasta pitoi-

suudesta pienempään pitoisuuteen kutsutaan diffuusioksi.

Pienimolekyyliset aineet pääsevät soluun ja sieltä ulos siirtymällä joko suoraan solukalvon läpi tai solukalvon kalvoproteiinien muodostamista aukoista. Kaasut, kuten happi ja hiilidioksidi, läpäisevät solukalvon helposti. Rasvaliukoiset aineet, kuten etanoli ja rasvaliukoiset vitamiinit (esim. D-vitamiini) pääsevät solukalvon läpi liukenemalla lipidikerrokseen.

Molemmissa tapauksissa kysymyksessä on diffuusio, eli ainetta siirtyy suuremman pitoisuuden puolelta pienemmän pitoisuuden puolelle. Tapahtumaan ei tarvita energiaa, joten sitä kutsutaan passiiviseksi kulkeutumiseksi. Esimerkiksi ihmisen keuhkorakku-
loissa on happea enemmän kuin niitä ympäröivissä
hiussuonissa, joten happi siirtyy keuhkorakku-
lusta hiussuoniin diffuusion avulla.



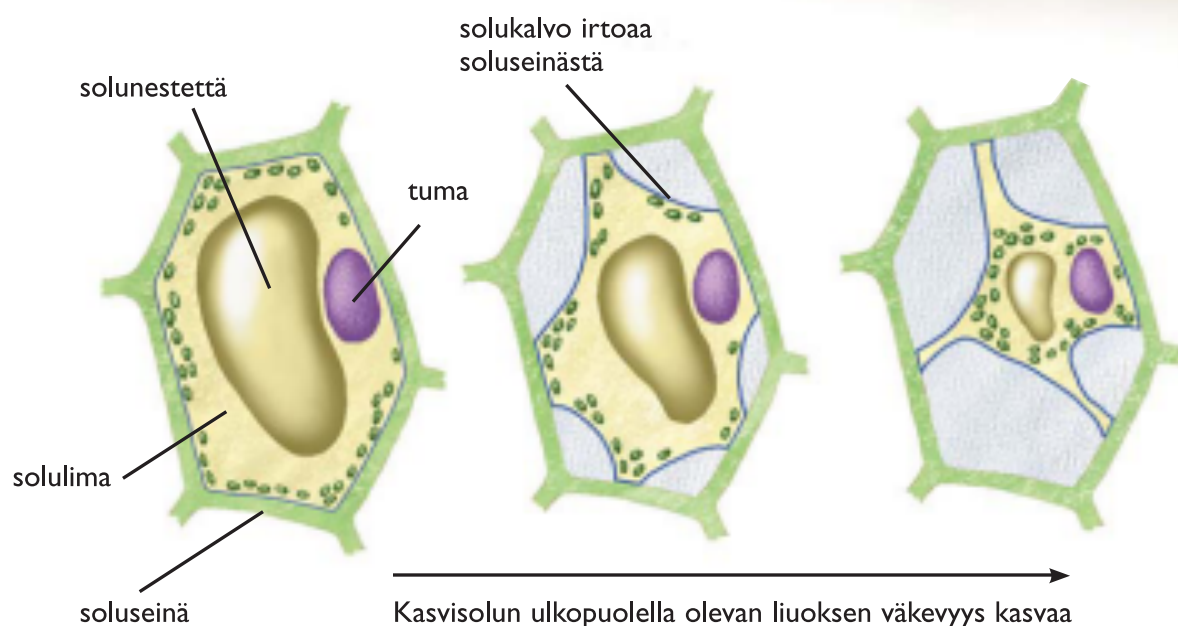
*Pienet, varauksettomat
molekyylit siirtyvät
solukalvon läpi
suuremmasta
pitoisuudesta
pienempään
pitoisuuteen.*

Osmoosissa vettä siirtyy solukalvon läpi

Vesi on eliöille tärkeää monesta syystä. Se toimii muiden tehtäviensä lisäksi elävissä soluissa liuottimena. Vesi pystyy siirtymään solukalvon läpi siinä olevien erityisesti veden siirtymiseen erikoistuneiden kalvoproteiinien aukoista. Liuottimen, soluissa veden, siirtymistä puoliläpäisevän solukalvon läpi kutsutaan

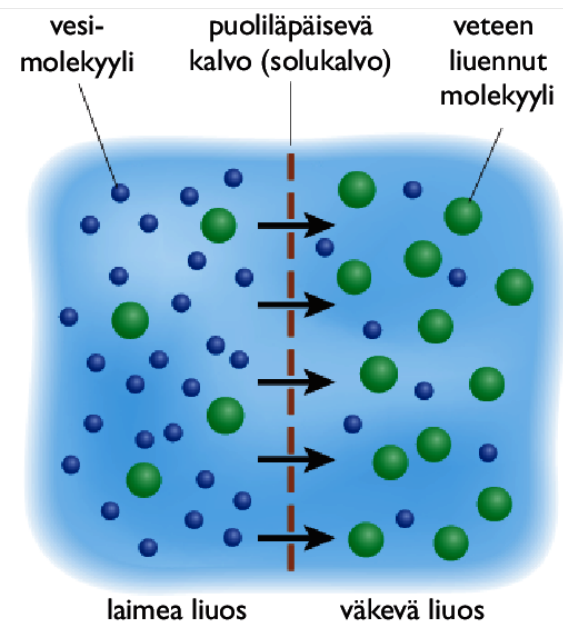
osmoosiksi. Osmoosissa vesi siirtyy aina laimeammasta liuoksesta väkevämpään liuokseen eli suuremman vesipitoisuuden puolelta pienempään vesipitoisuuteen. Näin kahden eri ympäristön väkevyyserot tasoittuvat. Osmoosiin ei tarvita energiaa.

Esimerkiksi kasvin juurikarvojen soluissa on väkevampi liuos kuin niiden ulkopuolella maaperässä. Tällöin juurikarvojen soluihin siirtyy vettä maaperästä. Kasvit saavat veden mukana myös siihen liuennei-



Jos kasvi näyttää nuutuneelta, syy ei aina ole veden puute. Esimerkiksi silloin, kun kasvia lannoitetaan liikaa, on kasvin juuren ulkopuolella väkevämpi liuos kuin kasvisolun sisällä ja vettä siirtyy kasvisolusta pois. Kasvisolun sisältö ”kutistuu” ja se menettää veden aikaansaaman nestejännityksen. Ilmiötä kutsutaan plasmolyysiksi.

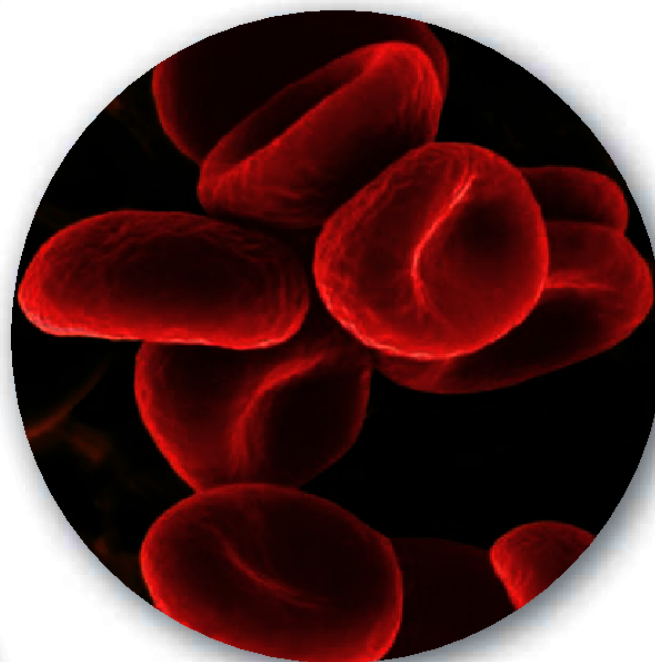
ta ravinteita. Jos kasvin juurikarvasolujen ympärillä maaperässä on väkevämpi liuos kuin solujen sisällä, vettä siirtyy juurikarvojen soluista maaperään. Solukalvo irtaoo soluseinästä ja solun sisältö ”kutistuu”. Tällöin solussa tapahtuu plasmolyysi, joka näkyy ensin kasvin lakastumisena ja myöhemmin kuihtumisena, jos väkevyyserot eivät tasoitu.



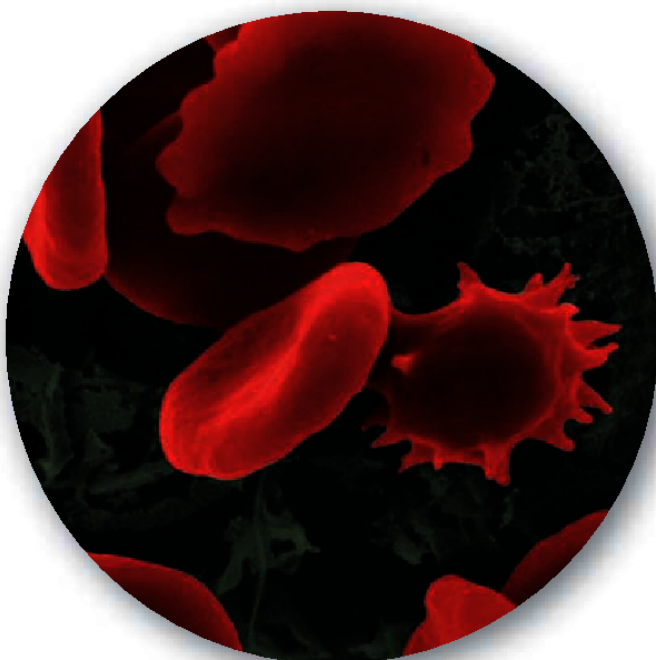
Osmoosissa vettä siirtyy puoliläpäisevän kalvon läpi laimeammasta liuoksesta väkevämpään, minkä seurauksena pitoisuuserot tasoittuvat.



Punasolu on fysiologisessa suolaliuoksessa (0,9 % natriumkloridiliuos), jonka väkevyys on sama kuin solun sisäinen väkevyys. Vettä siirtyy sisään ja ulos saman verran.



Punasolun ulkopuolella olevan liuoksen väkevyys on pienempi kuin solun sisällä. Vettä siirtyy solun ulkopuolelta solun sisälle, jolloin solu pullistuu. Punasolu ja muut soluseinättömät solut voivat haljeta.



Punasolun ulkopuolella olevan liuoksen väkevyys on suurempi kuin solun sisällä. Vettä siirtyy solun sisältä ulkopuolelle, minkä seurauksena solu kutistuu.

Kuljettajaproteiinit voivat avustaa diffuusiota

Glukoosi ja aminohapot ovat hyvin yleisiä solukalvon läpi siirtyviä aineita. Ne ovat liian suuria mahtuakseen solukalvon aukoista, eivätkä ne ole rasvaliukoisia, joten ne eivät voi myöskään liikkua suoraan solukalvon läpi. Ne voivat siirtyä kalvon läpi avustetun diffuusion keinoin silloin, kun niitä siirtyy suuremmasta pitoisuudesta pienempään. Avustetussa diffuusiossa kuljetettava aine liittyy väliaikaisesti kuljettajaproteiiniin, joka päästää aineen irti solukalvon toisella puolella. Kuljetus voi tapahtua sekä solukalvon sisältä ulos että toisinpäin. Tähän ei tarvita energiaa, joten kyseessä on edelleen passiivinen kulkeutuminen. Avustettu diffuusio on huomattavasti nopeampaa kuin pelkkä diffuusio.

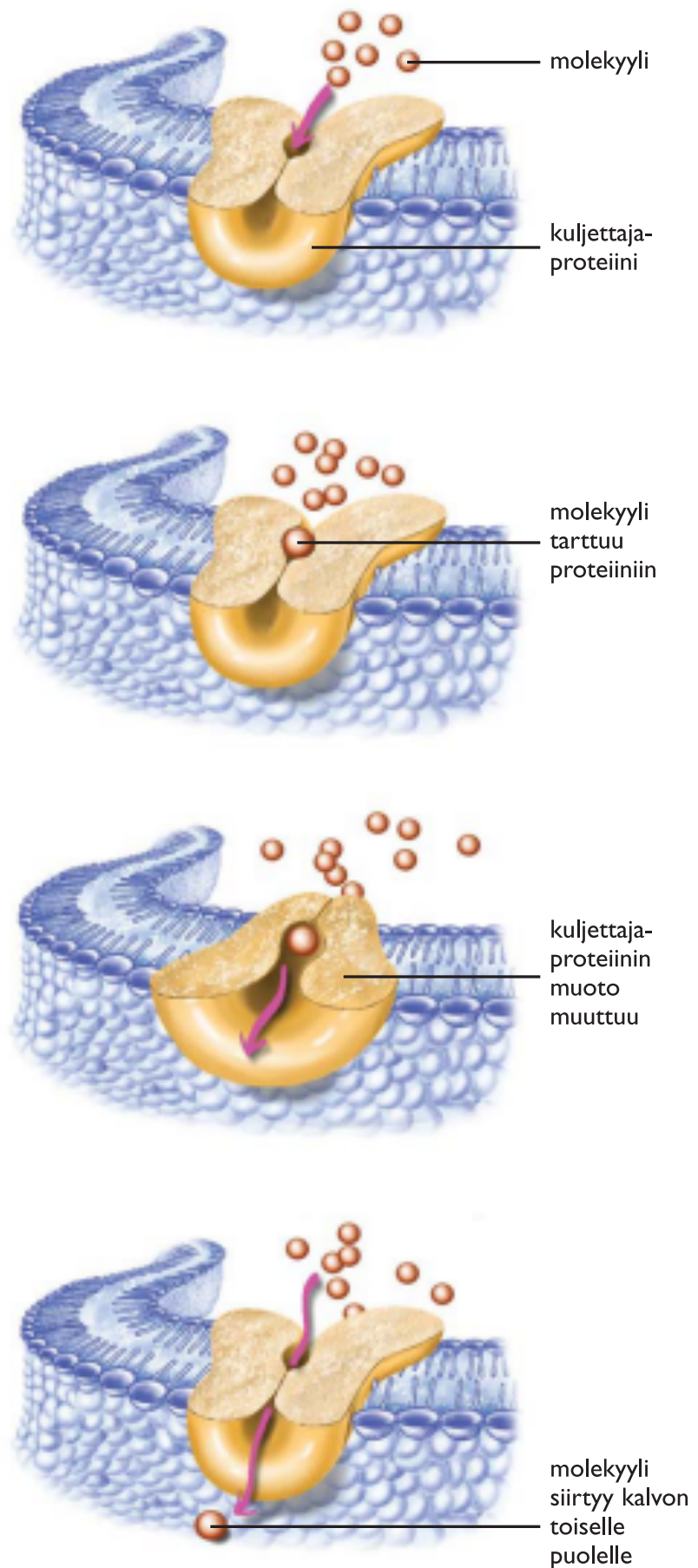
Solu siirtää aineita aktiivisesti, ja siihen tarvitaan energiaa

Aineet eivät siirry aina vain suuremmasta pitoisuudesta pienempään, vaan elävät solut pystyvät siirtämään aineita pienemmän pitoisuuden puolelta suuremman pitoisuuden puolelle. Aineiden siirto tapahtuu tällöin kuljettajaproteiinien avulla. Solu joutuu käyttämään energiaa pystyäkseen aineiden siirtoon solukalvon läpi. Tätä kutsutaan aineiden aktiiviseksi kuljetukseksi.

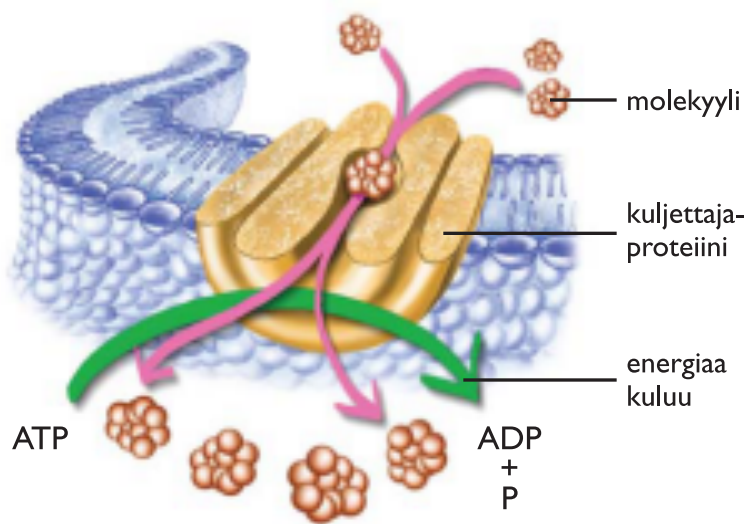
Aktiivisen kuljetuksen avulla kasvisolut pystyvät ottamaan joitakin ravinteita maaperästä, vaikka niiden soluissa on suurempi pitoisuus näitä aineita kuin solun ulkopuolella. Solut pystyvät myös erittämään haitallisia aineita ympäristöönsä, jossa niitä on runsaasti. Esimerkiksi merivedessä elävät kalat siirtävät natriumia pois soluistaan sitä runsaasti sisältävään meriveteen. Aktiivisen kuljetuksen avulla ihmisen munuaisista siirtyy takaisin verenkiertoon tarpeellisia aineita, kuten glukoosia.

Solu ottaa ja poistaa myös suuria molekyylejä

Tähän asti olemme tutustuneet vain melko pienikokoisten aineiden pääsyyn solukalvon läpi. Kuitenkin myös suuret ainehiukkaset tai jopa toiset eliöt, kuten



Glukoosin siirtyessä solukalvon läpi se voi tarttua kuljettajaproteiiniin, jolloin kuljettajaproteiinin muoto muuttuu, ja glukoosi voi siirtyä avautuneen kanavan läpi solukalvon toiselle puolelle. Tämä kuljetustapa on avustettu diffuusio.

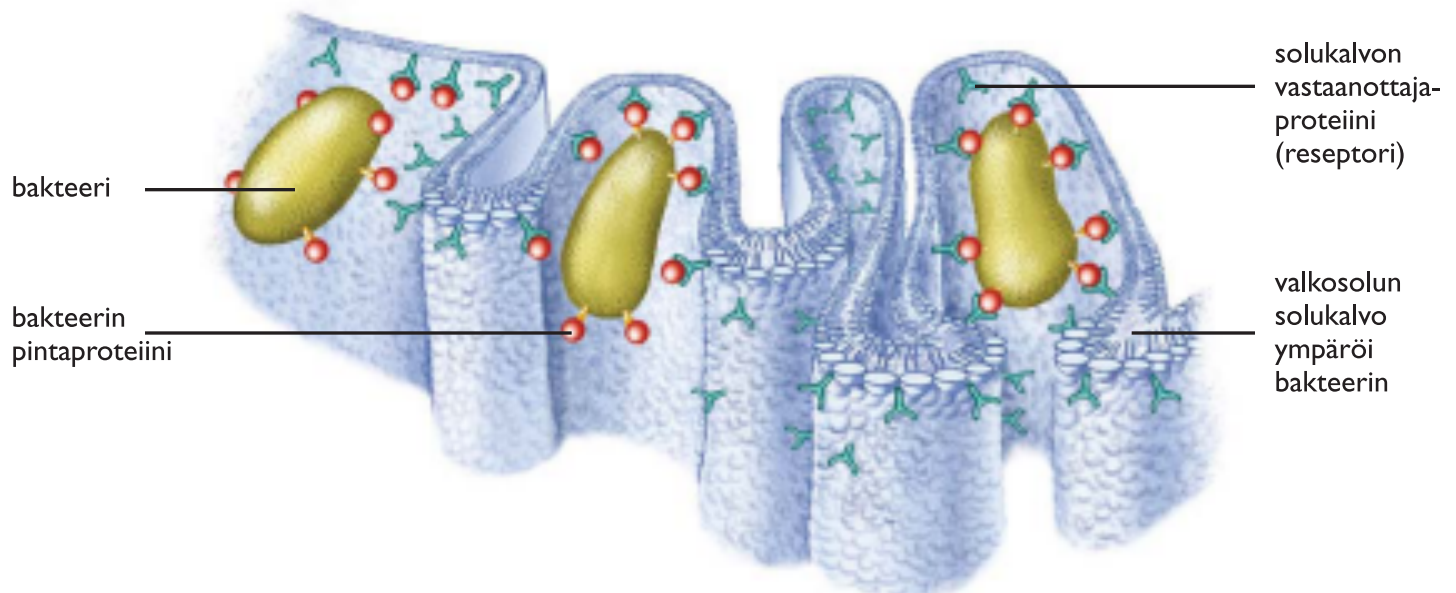


Aktiivinen kuljetus tapahtuu solukalvolla olevien kuljettaja-proteiinien avulla samalla tavalla kuin avustetussa diffuusiassa. Erona on kuitenkin se, että aktiiviseen kuljetukseen tarvitaan energiaa, koska ainetta siirtyy pienemmästä pitoisuudesta suurempaan.



Ameeba syö tohvelieläimen ympäröimällä sen solukalvolla. Tällaista aineiden siirtymistä solukalvon läpi kutsutaan endosytoosiksi eli solusyönniksi.

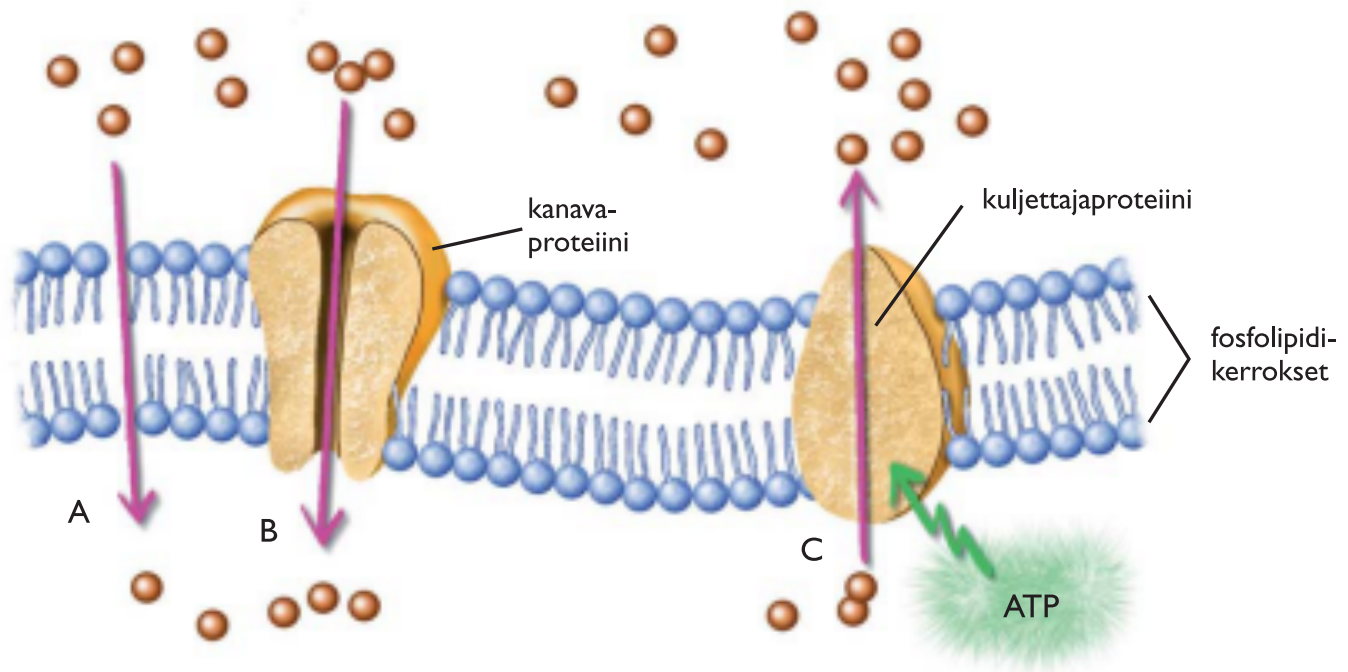
Ihmissen immuunijärjestelmässä solusyönti on merkittävässä asemassa. Valkosolut tunnistavat elimistön tunkeutuneen bakteerin sen pintarakenteen perusteella. Kun solu on ympäröinyt solukalvolla bakteerin ja siirtänyt sen sisäänsä, entsyymit hajottavat bakteerin.



TEHTÄVÄT

1. Aineiden siirtyminen solukalvon läpi

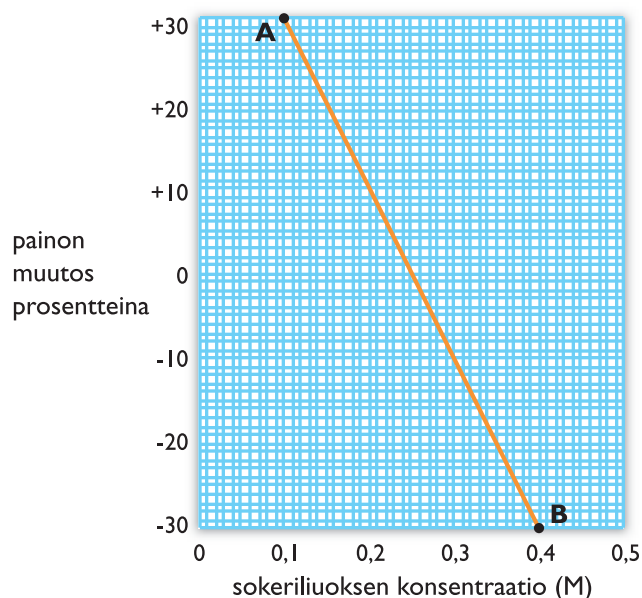
Selosta kuvan kohdista A, B ja C, miten aineet siirtyvät solukalvon läpi.



2. Perunaviipaleet eri liuksissa

Kymmenen leikattua perunaviipaletta punnittiin ja asetettiin sen jälkeen kymmeneen, eri väkevyyttä olevaan sokeriliukseen. Kolmenkymmenen minuutin kuluttua ne otettiin pois liuksista ja punnittiin. Painon muutos laskettiin prosentteina.

- Mikä ilmiö aiheutti painonmuutokset?
- Vertaile viipaleita A ja B. Mitä eroa niissä on?
- Mikä selittää niiden välisen eron?
- Päättele käyrän avulla missä sokeripitoisuudessa perunaviipaleiden painossa ei tapahdu muutosta.



3. Punasolut eri vahvuuksisissa liuksissa

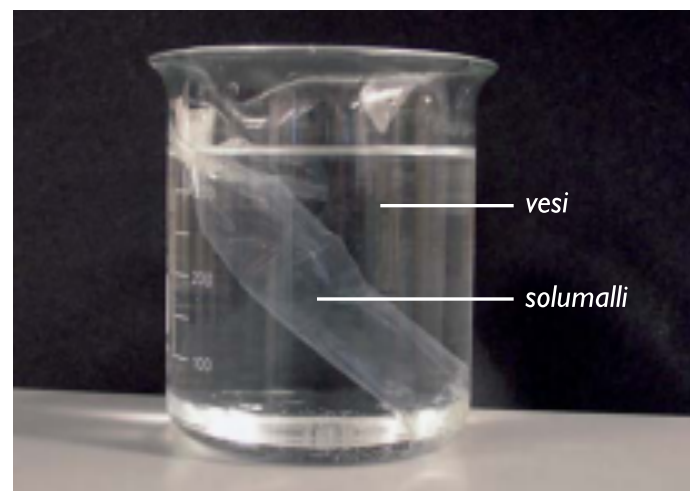
Pohdi, mitä tapahtuu punasolulle, kun se laitetaan

- tislattuun veteen
- 0,9-prosenttiseen natriumkloridiliukseen (fysiologinen suolaliuos)
- 3,5-prosenttiseen natriumkloridiliukseen?

4. Osmoosi solumallissa

Dialyysiletkusta valmistetuissa solumalleissa on seuraavanlaiset nesteet:

solu- mallin sisältö	1 vesi- johto- vettä	2 20-pro- senttinen sokeri- liuos	3 40-pro- senttinen sokeri- liuos	4 60-pro- senttinen sokeri- liuos
----------------------------	-------------------------------	---	---	---



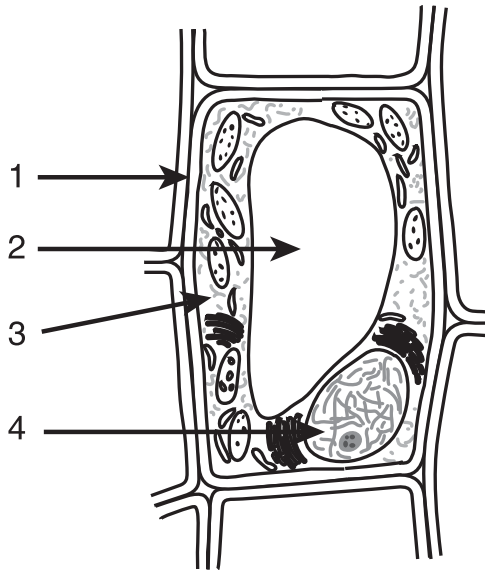
Mitä solumalleille tapahtuu, kun ne laitetaan vesijohtoveteen? Perustele vastauksesi.

- Milloin osmoosi on voimakkainta?
- Milloin osmoosia ei tapahdu lainkaan?
- Mitä tapahtuu, jos keitinlasissa on 60-prosenttista sokeriliuosta ja solumallin sisällä vesijohtovettä?

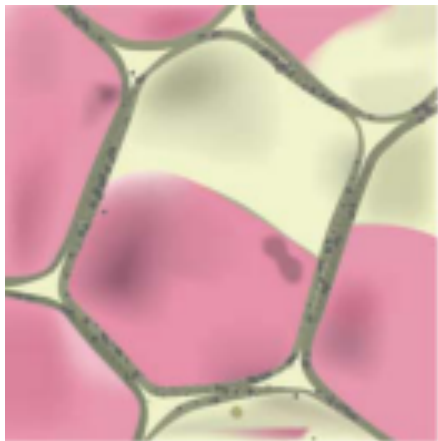
5. Kasvisolu erilaisissa liuoksissa



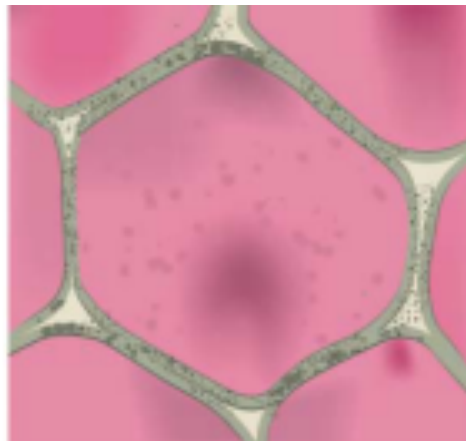
- a) Kaavakuva esittää kasvisolua. Nimeä piirroksessa numeroin 1–4 osoitetut solun osat. (1 p.)



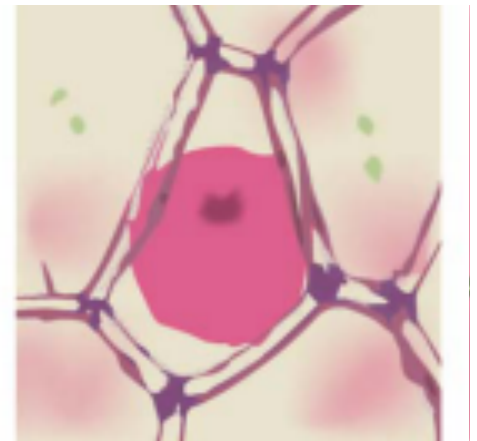
- b) Kun punalehtisen huonekasvin, taskujuorun (*Tradescantia discolor*), solukkoa upotettiin 1 %:n, 9 %:n ja 15 %:n sokeriliuoksiin, yksittäiset solut näyttivät mikroskoopissa seuraavanlaisilta:



A



B



C

Päättele ja perustele, mikä näytteistä A–C on ollut missäkin liuoksessa. Käytä perusteluissa soveltuvin osin a)-kohdan nimistöä. (5 p.)

6. Osmoosi punasipulin solussa

Tarvikkeet

punasipuli
pinsetit
preparointiveitsi
aluslasi
peitinlasi
petrimalja
pipetti
väkevää sokeriliuosta
(esim. 40 g taloussokeria/100 ml vettä)

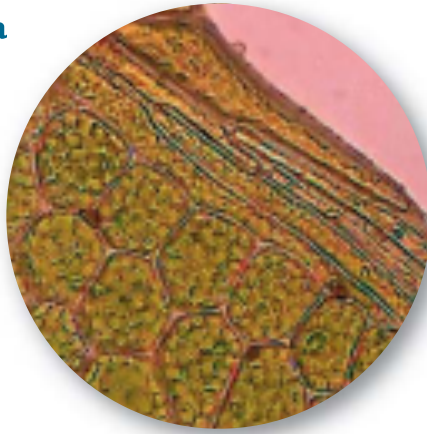


- Valmista punasipulin punaisesta varastolehdestä ohut näyte samalla tavalla kuin tehtävässä 1b, s. 17.
- Irrota varastolehdestä myös toinen ohut näyte ja upota se petrimaljaan sokeriliuokseen. Jätä näyte sokeriliuokseen noin 10 minuutiksi.
- Tarkastele ensin tekemääsi näytettä mikroskoopilla ja piirrä kuva punasipulin solusta.
- Ota sokeriliuoksessa ollut näyte pinseteillä aluslasille ja peitä se peitinlasilla.
- Tarkastele näytettä mikroskoopilla ja piirrä siitä kuva.
- Selitä, mitä kokeessa tapahtui.

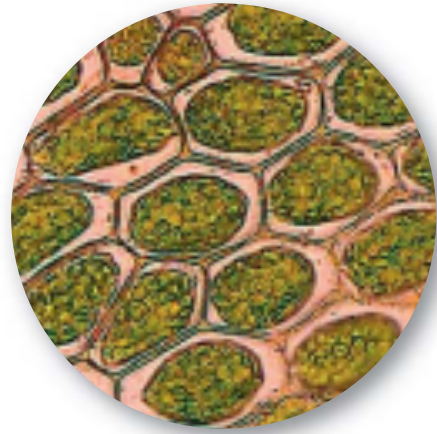
7. Osmoosi lehväsammalen solussa

Mikäli et voi tehdä kokeellista työtä, tarkastele oheisia kuvia.

- Millainen lehväsammalen solu on ennen koetta?
- Nimeä kuvassa näkyvät kasvisolun osat.
- Mitä lehväsammaleen soluille tapahtuu kokeen aikana?

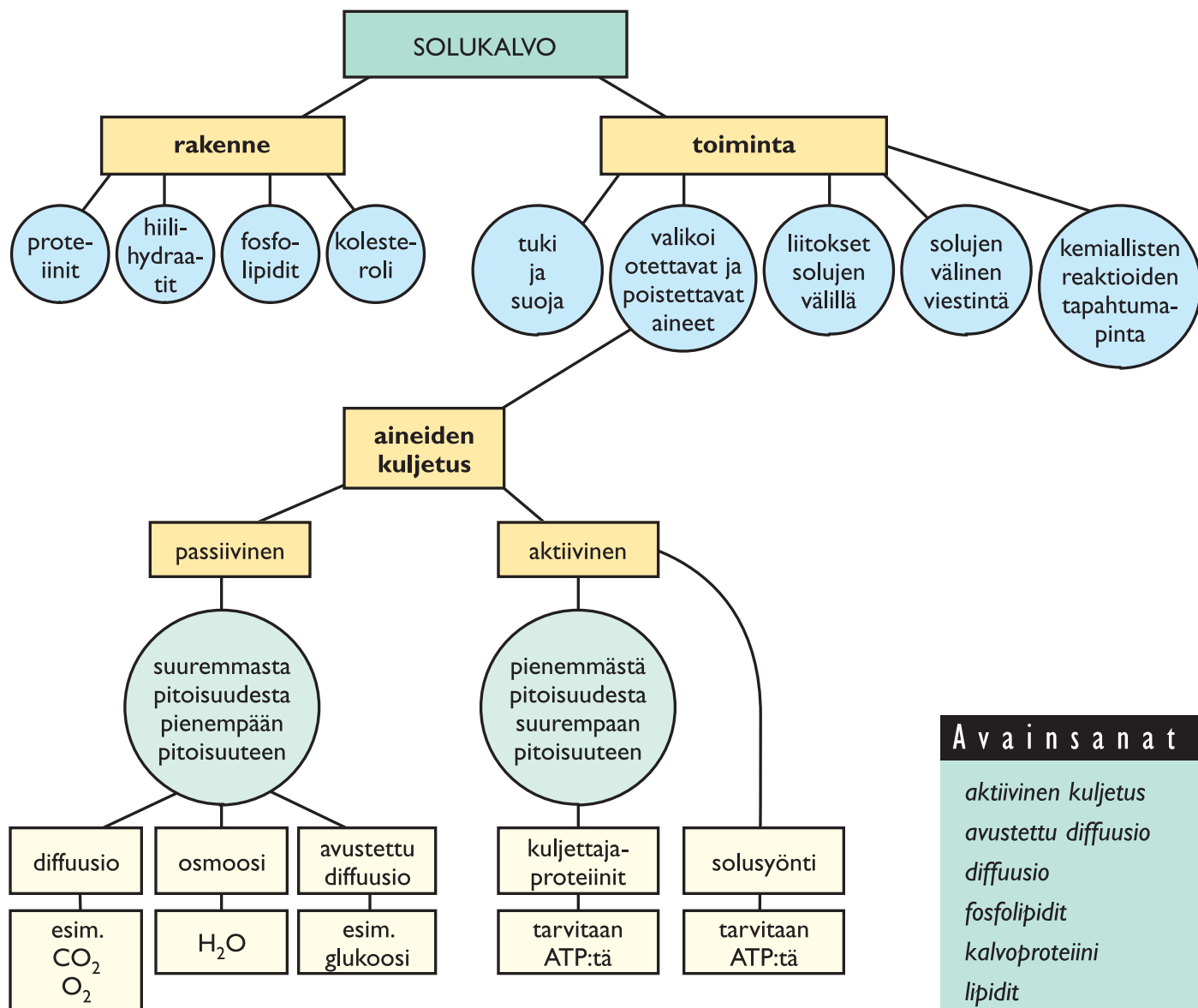


ennen koetta



kokeen jälkeen

Y h t e e n v e t o



Avainsanat

aktiivinen kuljetus
 avustettu diffuusio
 diffuusio
 fosfolipidit
 kalvoproteiini
 lipidit
 osmoosi
 passiivinen kulkeutuminen
 solukalvo
 solusyönti



4.

Geenit ohjaavat proteiinien rakentumista

Hyönteisten kotelot, hämähäkkien verkot, ihmisen hiukset ja lintujen höyhenet muodostuvat kaikki suurimmaksi osaksi proteiineista. Proteiineja on myös lintujen munien valkuaisessa, kasvien siemenissä sekä eläinten lihaksissa. Miten eliöiden solut pystyvät rakentamaan vain 20 erilaisesta aminohaposta tähtitieteellisen määrän erilaisia proteiineja?

Proteiinit ovat solujen toiminnan kannalta keskeisimpiä molekyylejä

Proteiineja on useimpien solujen kuivapainosta yli 50 %, ja niillä on monia solujen elämän kannalta tärkeitä tehtäviä. Ne esimerkiksi kuljettavat aineita, ottavat vastaan ja välittävät viestejä, helpottavat kemiallisia reaktioita, ovat soluelinten rakennusma-

teriaaleina, antavat tukevuutta ja lujuutta, taistelevat taudinaiheuttajamikrobeja vastaan sekä toimivat varastoaineina. Ihmisellä on kymmeniä tuhansia erilaisia proteiineja, joilla jokaisella on ainutlaatuinen rakenne ja toiminta.

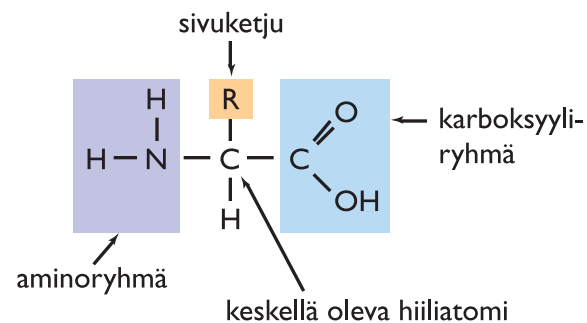
Proteiinit ovat molekyylien mittakaavassa valtavan kokoisia makromolekyyliä. Ne rakentuvat sadoista, jopa tuhansista pienemmistä molekyyleistä. Ymmärtääkseen näiden molekyylien rakennetta ja toimintaa paremmin tiedemiehet ovat rakentaneet niitä kuvaavia malleja. 1950-luvulla mallit rakennettiin käsin, mutta nykyään niiden rakentamisessa käytetään erityisesti molekyylihallinnukseen kehitettyjä tietokoneohjelmia.

Proteiinit rakentuvat aminohapoista

Proteiinit ovat orgaanisia molekyyliä, joita solut valmistavat aminohapoista solulimassaan. Aminohapot rakentuvat hiili- (C), happi- (O), vety- (H), typpi- (N) ja joskus myös rikkiatomeista (S). Luonnossa esiintyy yli 100 erilaista aminohappoa, mutta proteiinien rakennusaineena on lähes kaikilla eliöillä vain 20 eri aminohappoa.

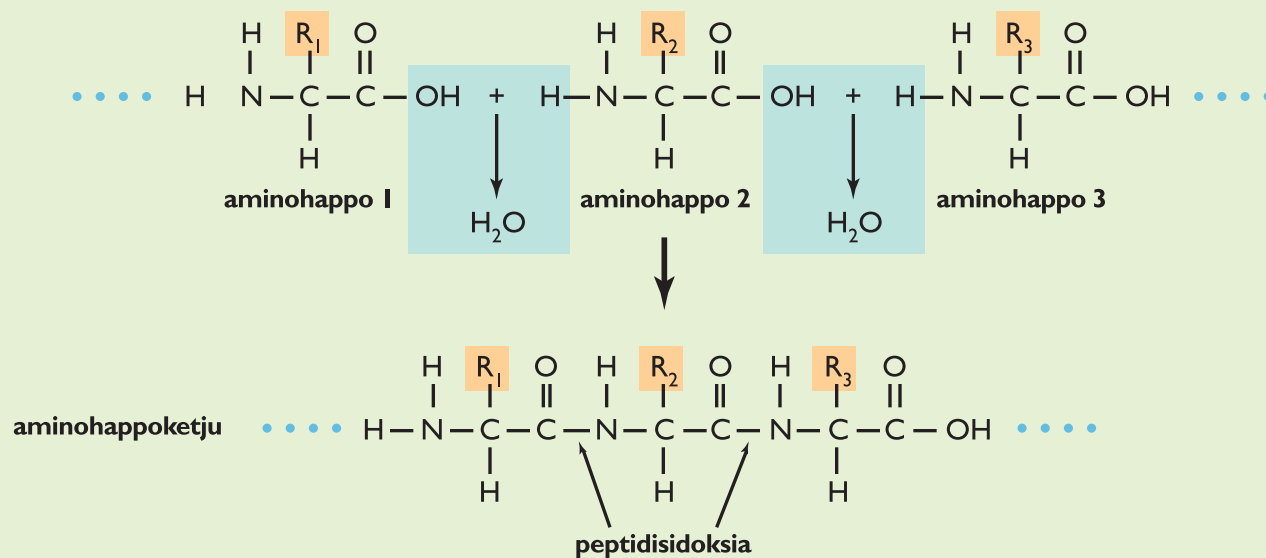
Eläinten on syötävä proteiinipitoista ravintoa saadakseen kaikkia proteiinien rakentamisessa välttämät-

tömiä aminohappoja. Ravinnon sisältämät proteiinit pilkkoutuvat ruuansulatuksessa aminohapoiksi, jotka veri kuljettaa soluihin. Kasvit puolestaan valmistavat aminohappoja yhteyttämisen lopputuotteesta glukosista. Soluissa aminohapoista valmistuu geenien ohjeiden mukaan jokaiselle lajille ja yksilölle ominaisia proteiineja.



Kaikilla aminohapoilla on keskusatomina hiiliatomi (C), johon ovat sitoutuneet vetyatomi (H), aminoryhmä (NH_2), karboksyyli-ryhmä (COOH) ja sivuketju (R). Aminohappojen kemialliset erot määräytyvät sivuketjun molekyylien perusteella.

TAUSTATIEDOT



Proteiinit muodostuvat aminohapoista samaan tapaan kuin monosakkarideista muodostuu polysakkarideja. Kahden aminohapon yhdistyessä niiden välille syntyy peptidisidos, kun toisen aminohapon karboksyyli-ryhmä ja toisen aminoryhmä reagoivat keskenään. Reaktiossa irtaota vettä. Aminohappojen määrä yhdessä aminohappoketjussa vaihtelee muutamasta kymmenestä useisiin tuhansiin. Kaksikymmentä erilaista aminohappoa voi yhdistyä aminohappoketjuissa valtavaksi määräksi erilaisia yhdistelmiä.

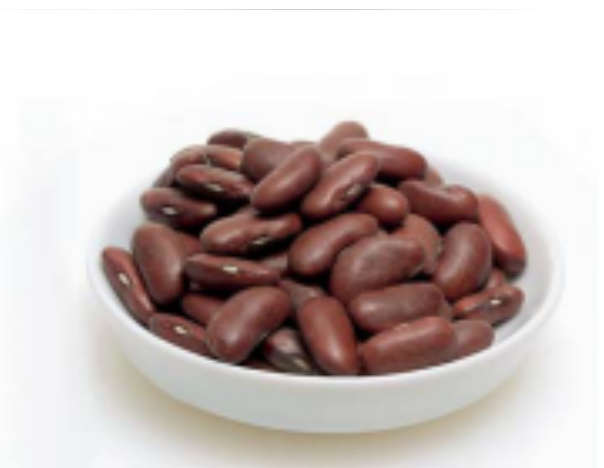
Näihin kaikkiin tehtäviin proteiineja tarvitaan

Proteiiniryhmä	Esimerkki tai toiminta
Entsyymit	ruuansulatusentsyymit
Varastoproteiinit	kananmunan valkuainen
Kuljetusproteiinit	hapen kuljetus veressä, hemoglobiini
Supistuvat proteiinit	lihasten aktiini ja myosiini
Suojaproteiinit	vasta-aineet
Hormonit	kasvun säätely, kasvuhormoni
Rakenneproteiinit	sidekudokset, solukalvon rakenneosa
Reseptoriproteiinit	viestien vastaanotto



Aminohapot, joita ihmisen solut pystyvät itse valmistamaan (ei-välttämättömät aminohapot)	Aminohapot, joita ihmisen solut eivät pysty valmistamaan (välttämättömät aminohapot)
Alaniini	Isoleusiini
Arginiini *	Leusiini
Asparagiini	Lysiini
Asparagiinihappo	Metioniini
Kysteiini	Fenyyialaniini
Glutamiinihappo	Treoniini
Glutamiini	Tryptofaani
Histidiini *	Valiini
Prolini	
Seriini	
Tyrosiini	
Glysiini	

* = välttämätön lapsille



Nämä tuotteet sisältävät runsaasti proteiineja. Ne pilkotaan mahassa ja ohutsuolessa aminohapoiksi, joista solut valmistavat tarvitsemiaan uusia proteiineja. Osan tarvitsemistaan aminohapoista ihmisen solut pystyvät valmistamaan, ja osa täytyy saada ravinnosta.

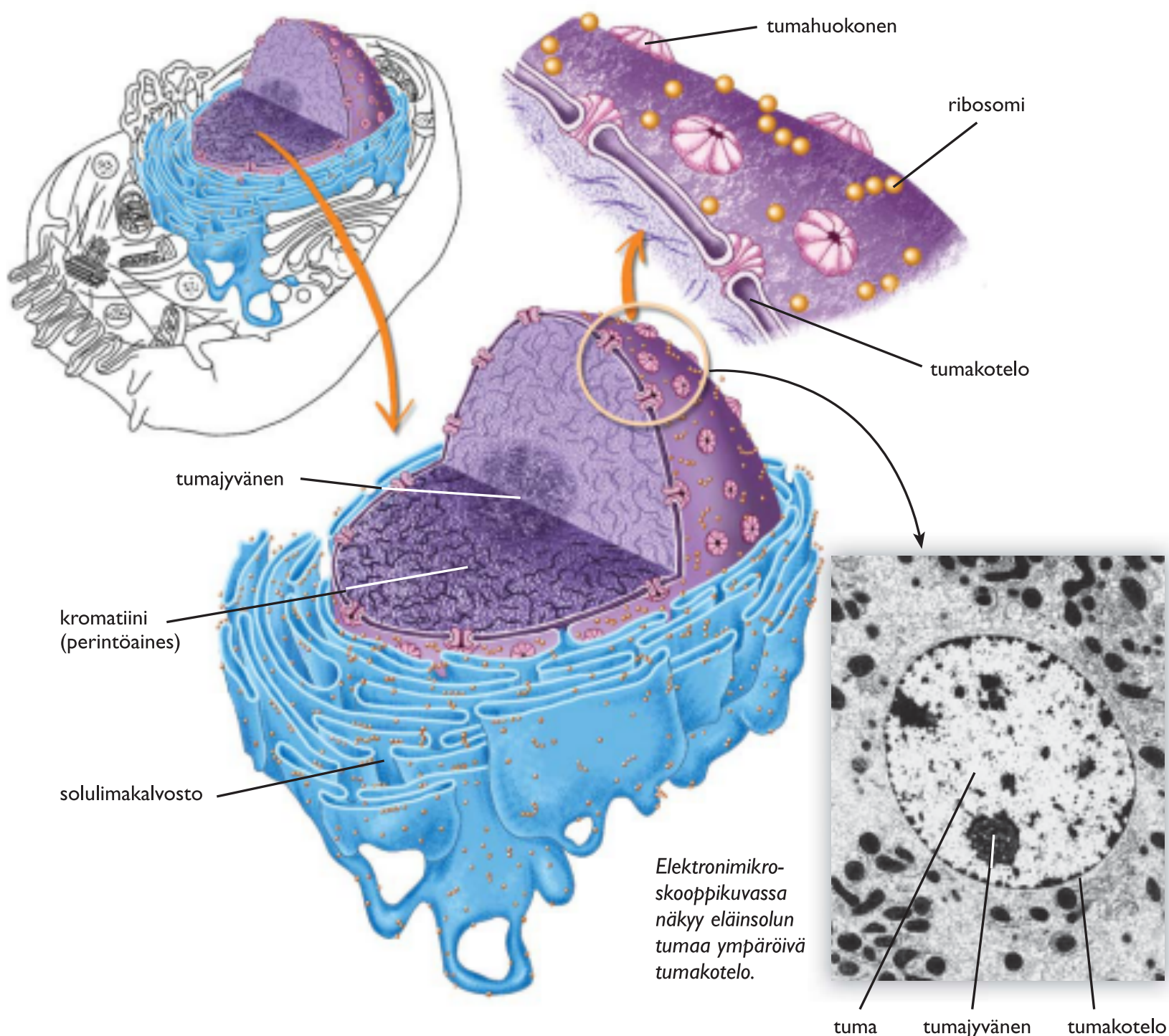
Proteiinien rakennusohjeet ovat tumassa

Tumallisten eliöiden soluissa on tuma, jota ympäröi tumakotelo. Esitumallisilla eli arkeilla ja bakteereilla ei ole selvää tumaa, vaan niiden perintöaines sijaitsee solulimassa. Monissa solun toiminnoissa esitumalliset ja tumalliset solut poikkeavat jonkin verran toisistaan.

Tuma on suurin soluelin, ja se pystyttiin havaitsemaan jo varhaisilla valomikroskoopeilla. Elektronimikroskoopilla voidaan tumen ympärillä erottaa kaksikerroksinen kalvo, tumakotelo, jossa on pieniä

reikiä eli tumahuokosia. Tumaa ympäröivistä kalvoista ulommainen voi toisinaan ulottua soluliman eli sytoplasman puolelle. Uloin kalvo on suorassa yhteydessä solulimakalvostoon.

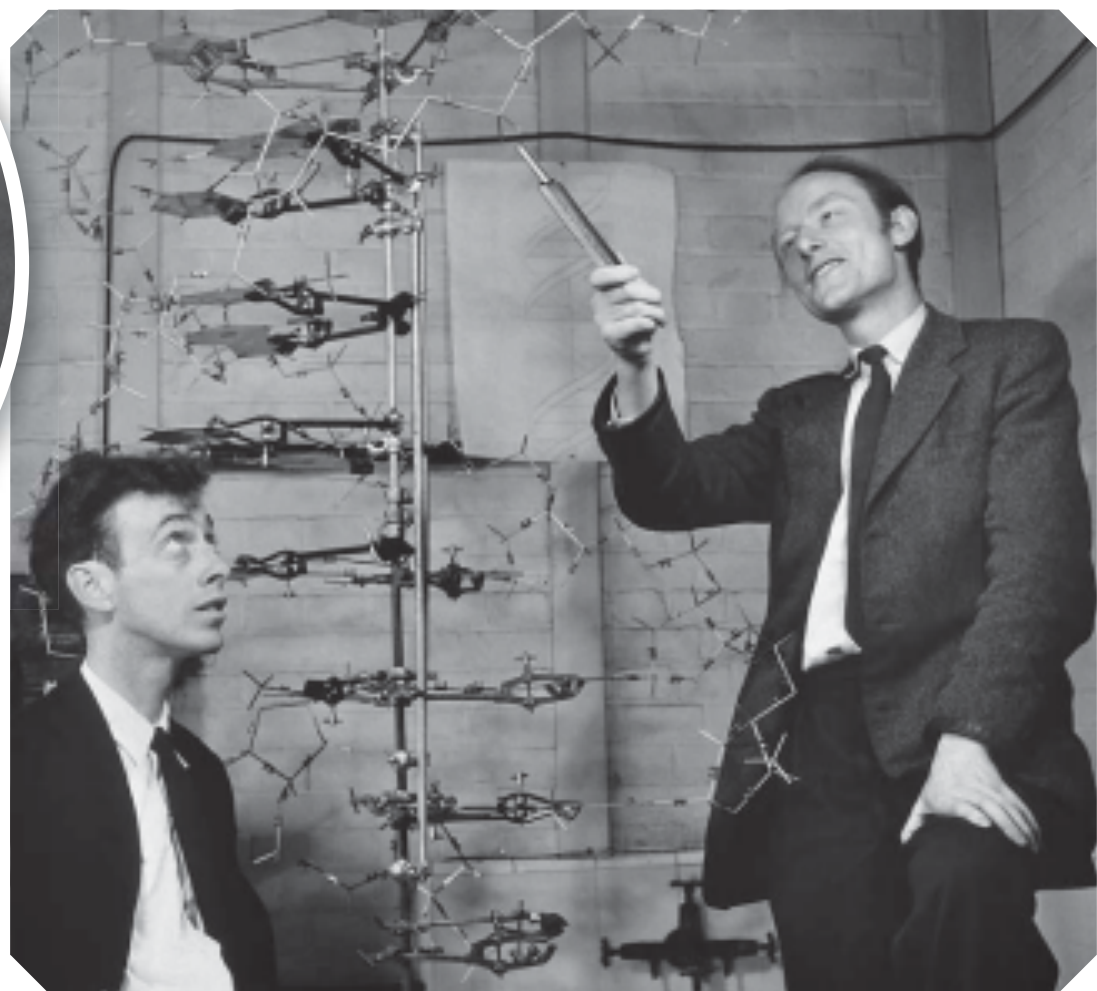
Jakautuvissa soluissa voidaan saada näkyviin tumassa oleva perintöaines. Suurimman osan solun elinkaaresta perintöaines on ohuena rihmana, kromatiinina, joka ei erotu mikroskoopilla. Kun tuma jakautuu, perintöaines pakkautuu ja kiertyy mikroskoopilla nähtäviksi kromosomeiksi. Tuman sisällä voidaan nähdä myös yksi tai useampi tumajyvänen, joka erottuu muuta tumaa tiheämpänä ja näkyy mikroskoopissa tummana alueena.





Rosalind Franklin

DNA on ainutlaatuinen molekyyli. Se sisältää informaatiota ja pystyy tekemään itsestään kopioita. Molekyylin rakenteen selvittivät Nobelin palkinnon saaneet tutkijat Watson ja Crick. Heidän työnsä perustana olivat Rosalind Franklinin röntgenkristallografiakuvat DNA:sta.



Eliöillä on kullekin lajille ominainen määrä kromosomeja. Esimerkiksi ihmisellä on kaikissa muissa paitsi sukusoluissa 46 kromosomia, hevosella 64, hies- ja tunturikoivulla 56 ja eräillä kasveilla jopa useita satoja.

Proteiinien rakentamisessa tarvitaan nukleiinihappoja

Perintöaineksen sijainti ja kemiallinen rakenne ovat kiinnostaneet tutkijoita jo 1800-luvulta lähtien. Perintöaineksen eli nukleiinihappojen rakenteen ja toiminnan selvittämistä pidetään yhtenä tieteen suurimmista saavutuksista.

Jo 1900-luvun alussa oli selvitetty, että perinnöllisen informaation välittäjinä toimivat kemialliset yhdisteet, joiden epäiltiin olevan joko proteiineja tai nukleiinihappoja. 1940-luvulla perinnöllisen informaation todettiin sisältyvän nukleiinihappoihin. Kuitenkaan ei tiedetty tarkemmin, millaisia ne ovat. Nukleiinihappojen kolmiulotteinen kemiallinen rakenne selvisi, kun tutkijat James Watson ja Francis Crick

voittivat kilpajuoksun sen selvittämiseksi vuonna 1953. Heidän työnsä perustana olivat tutkija Rosalind Franklinin röntgenkidekuvat DNA:sta. Näiden kuvien perusteella Watson ja Crick päätyivät malliin DNA:sta kaksoiskierteisenä molekyylinä.

Soluissa on kahta erilaista nukleiinihappoa. DNA eli deoksiribonukleiinihappo sisältää yksilön vanhemmiltaan perimän perintöaineksen. Kromosomit rakentuvat DNA:sta ja proteiineista. Toinen solujen sisältämä nukleiinihappo on RNA eli ribonukleiinihappo. 1960-luvulla onnistuttiin selvittämään, että yksi sen tehtävistä on kuljettaa DNA:n sisältämä informaatio solulimaan, jossa DNA:n ohjeen mukaan valmistetaan solun tarvitsemia proteiineja.

DNA on kemialliselta rakenteeltaan ainutlaatuinen molekyyli. Sen toiminnan kannalta ovat olennaisia seuraavat ominaisuudet: 1) se voi sisältää informaatiota, 2) se pystyy tekemään itsestään kopioita, sekä 3) sen sisältämä informaatio voi muuttua. Nämä kaikki ominaisuudet ovat evoluution tärkeitä askelia, kun elämä kehittyi maapallolla. Geneettinen koodi, DNA:n kieli, on samanlainen kaikilla eliöillä.

Se on samanlainen esitumallisilla ja tumallisilla, yksisoluisilla ja monisoluisilla, kasveilla ja eläimillä, mikä on yksi todiste eliöiden yhteisestä alkuperästä.

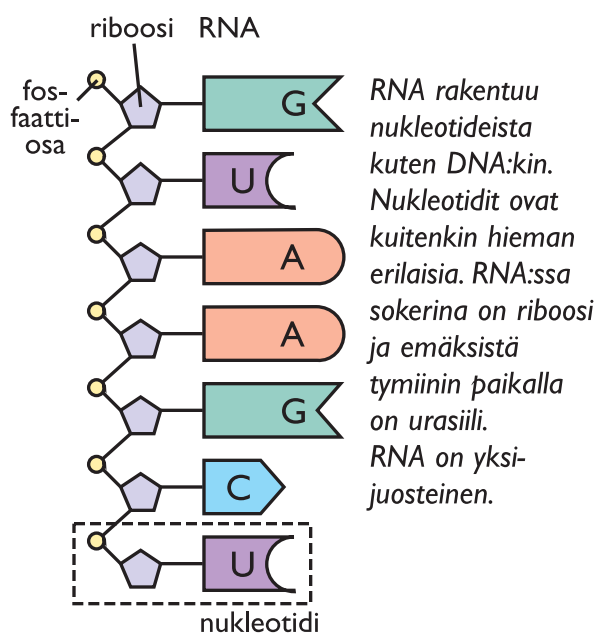
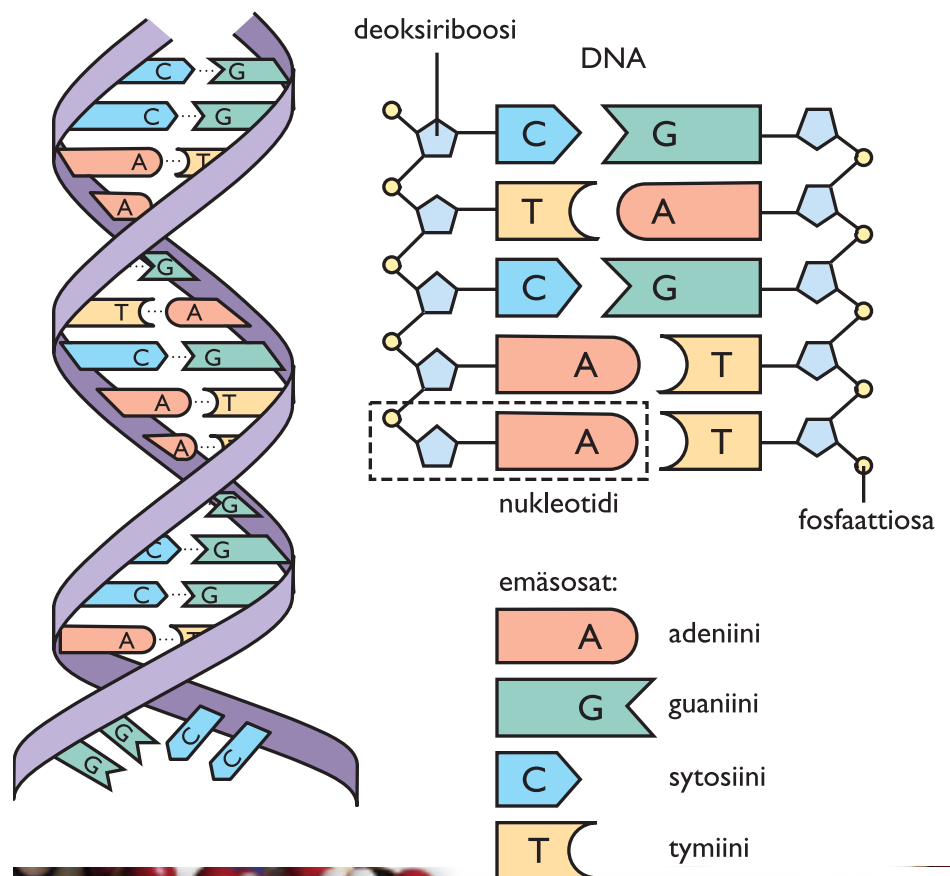
DNA:n kemiallista rakennetta voidaan verrata tikapuihin, jotka ovat kiertyneet spiraalille (heliksille). Tikapuiden pystypuita vastaa sokeriosasta ja fosfaatista muodostunut vahva runko. Poikkipuolat muodostuvat neljästä erilaisesta emäsosasta.

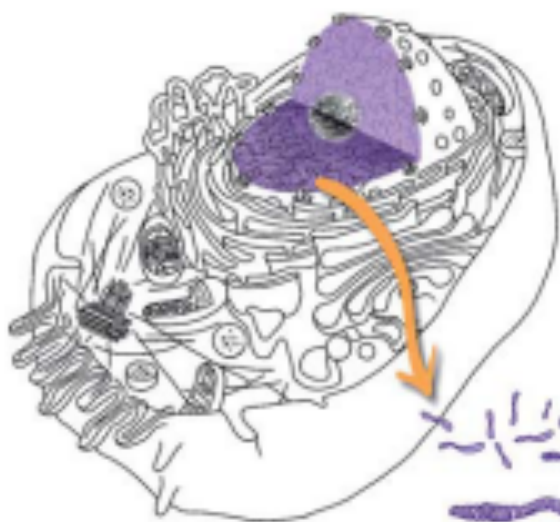
Nukleotidi on DNA:n rakenneyksikkö. Se koostuu sokeriosasta, fosfaattiryhmästä ja yhdestä orgaanisesta emäksestä. DNA:n neljä erilaista emästä ovat adeniini (A), sytosiini (C), guaniini (G) ja tymiini (T). Sokeri-fosfaattirunko on aina samanlainen; sokeriosana toimii deoksiriboosi. Emäsosat ovat kiinni sokeriosassa, ja ne muodostavat DNA:n kielen. Emäkset ovat ikään kuin kirjaimia, joita yhdistelemällä saadaan sanoja ja lauseita. Neljän kirjaimen avulla voidaan tallentaa niin paljon informaatiota, että se riittää miljoonien erilaisten lajien ja miljardien erilaisten yksilöiden ohjeeksi.

DNA:n emäsosat pystyvät muodostamaan tikapuun poikkipuolat vain tietyllä tavalla. Adeniini ja tymiini muodostavat parin, samoin guaniini ja sytosiini. Niiden välissä on vetysidoksia (vetysiltoja). DNA on kaksijuosteinen, ja juosteet kiertyvät heliksiksi, jolloin muodostuu kaksoiskierre. Vetysidos aukeaa helposti, mikä on tärkeää DNA:n toiminnassa.

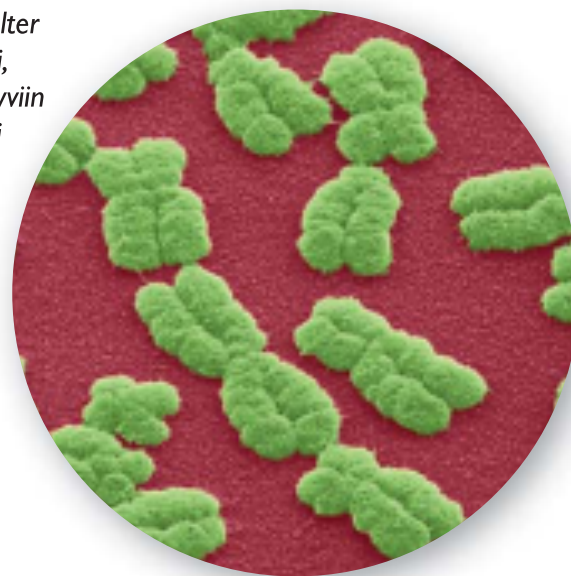
RNA:n sokeriosan rakenne on erilainen kuin DNA:n, sillä siinä on riboosisokeria. Nukleotidien emäsosat ovat muuten samanlaiset, mutta tymiinin paikalla on urasiili. Lisäksi RNA on yleensä yksijuosteinen molekyyli.

RNA voidaan jakaa kolmeen erilaiseen tyyppiin: lähetti-RNA:han, siirtäjä-RNA:han ja ribosomi-RNA:han. RNA:n päätehtävä on proteiinien rakentaminen solulimassa. DNA sisältää ohjeen kaikkien näiden RNA-molekyylien muodostamiseen.





Kromosomit löydettiin, kun tutkija Walter Fleming värjäsi eläinsoluja ja huomasi, että tietyllä väriaineella saadaan näkyviin X:n muotoisia kappaleita. Kromosomi tarkoittaa värillistä kappaletta (kreikan kielessä khroma = väri, soma = kappale). Mikroskooppikuvassa DNA on kahdentuneena.



kromosomi



700 nm

kromatiini

300 nm

30 nm

proteiini

11 nm

DNA

geeni

2 nm

Kromosomit rakentuvat DNA:sta ja pallomaisista proteiinimolekyyleistä. Geenit sijaitsevat kromosomeissa. Geeni voidaan määritellä monella tavalla: Rakenteellisesti geeni on jakso DNA:ta. Toiminnallisesti se on DNA-jakso, joka sisältää informaation yhden aminohappoketjun valmistukseen.

erilainen eri lajeilla. Geenissä on sekä proteiinin muodostamista ohjaava osa että säätelyosa, joka säätelee geenin toimintaa.

Geenejä on eri eliölajeilla eri määriä. On arvioitu, että eliö tarvitsee toimiakseen vähintään 500 geeniä. Pitkään ihmisellä arvioitiin olevan jopa 100 000 geeniä, mutta ihmisen perimän selvittämiseen keskittyneet tutkijat ovat nyt arvioineet niiden määräksi noin 20 000.

Kaikissa yksilön solujen tumissa on samat geenit, mutta vain osa niistä toimii eri soluissa ja kudoksissa. Esimerkiksi maksan soluissa toimii osittain eri geenit kuin silmän verkkokalvon soluissa.

Geeni on jakso DNA:ta

Geenit ovat DNA-molekyylin toiminnallisia jaksoja. Geeni sisältää ohjeen, jonka perusteella voi eri vaiheiden jälkeen muodostua usean aminohapon mittainen ketju, josta sitten rakentuu tietty proteiini. Samasakin tehtävässä toimiva proteiini voi olla hieman

Proteiinit syntyvät DNA:n ohjeen mukaan

Tutkijoille oli aikoinaan yllätys, että kaikissa elävissä soluissa syntyy ja hajoaa proteiineja jatkuvasti. Aminohappoja eli proteiinien erilaisia rakenneosia on vain 20. Näistä jokainen eliölaji valmistaa tarvitsemansa proteiinit. Esimerkiksi ihmisen solujen arvioidaan tuottavan kymmeniätuhansia erilaisia proteiineja. Proteiineja tarvitaan esimerkiksi lihasten rakentamiseen, entsyymeiksi ja hormoneiksi.

Lähettilä-RNA rakentuu DNA:n ohjeen mukaan

Proteiinit valmistetaan soluissa monivaiheisessa tapahtumaketjussa, proteiinisynteesissä. Proteiinisynteesi tapahtuu solulimassa pienten soluelimien, ribosomien, pinnalla DNA:n ohjeen mukaan. Tumallisilla soluilla DNA ei poistu tumasta, vaan tiedon proteiinien rakennuspaikalle solulimaan vie viestinviestä eli lähetti-RNA.

DNA:n viesti eli aminohappojärjestyksen ohje kopioidaan ensin lähetti-RNA:han RNA-synteesissä. Tämä tapahtuu seuraavien vaiheiden kautta:

1. Kun solussa tarvitaan jotain proteiinia, sen valmistusohjeen sisältävä geeni aktivoituu. Entsyymit aukaisevat DNA:n kaksoiskierrteen kyseisen geenin kohdalta. Entsyymien vaikutuksesta emästen väliset vetysidokset katkeavat hetkellisesti.

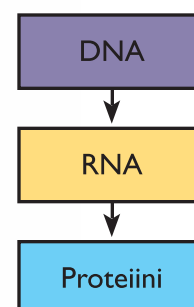
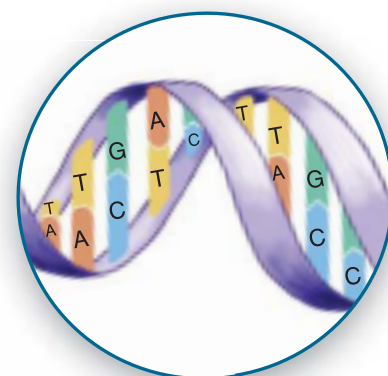
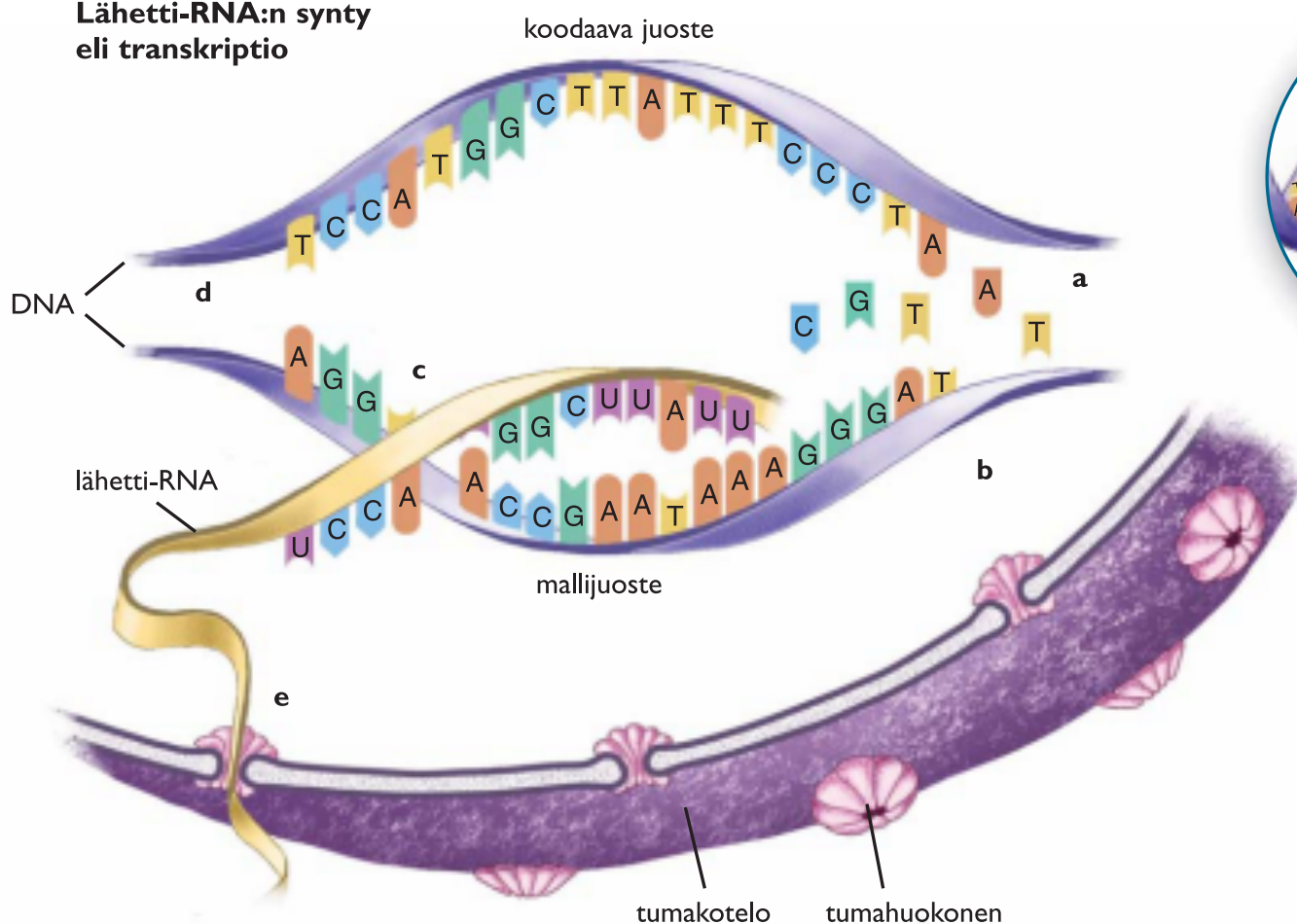
2. Tumassa olevista RNA:n rakenneosista, nukleotideista, rakennetaan entsyymien avulla kyseisen geenin ohjeen mukainen lähetti-RNA.

3. Lähetti-RNA:n vähitellen rakentuessa sulkeutuu DNA-nauha uudelleen kaksoiskierteeksi.

4. Valmiin lähetin pituus on yleensä 1 000–1 500 nukleotidia, ja niitä muodostuu peräkkäin useita.

- Entsyymit aukaisevat DNA:n kaksoiskierrteen katkaisemalla vetysidokset väliaikaisesti.
- Syntyvän lähetti-RNA:n mallina toimii toinen DNA-juosteista, mallijuoste.
- Nukleotidit asettuvat DNA-mallijuosteen koodin mukaisille paikoille entsyymin (RNA-polymeraasi) avulla. DNA:ta "luetaan" aina tiettyyn suuntaan.
- DNA-juoste sulkeutuu.
- Kun geeni on kopioitu kokonaan, lähetti-RNA on valmis. Tumallisissa soluissa lähetti-RNA muokataan vielä lopulliseen muotoon ennen sen siirtymistä solulimaan.

Lähettilä-RNA:n synty eli transkriptio

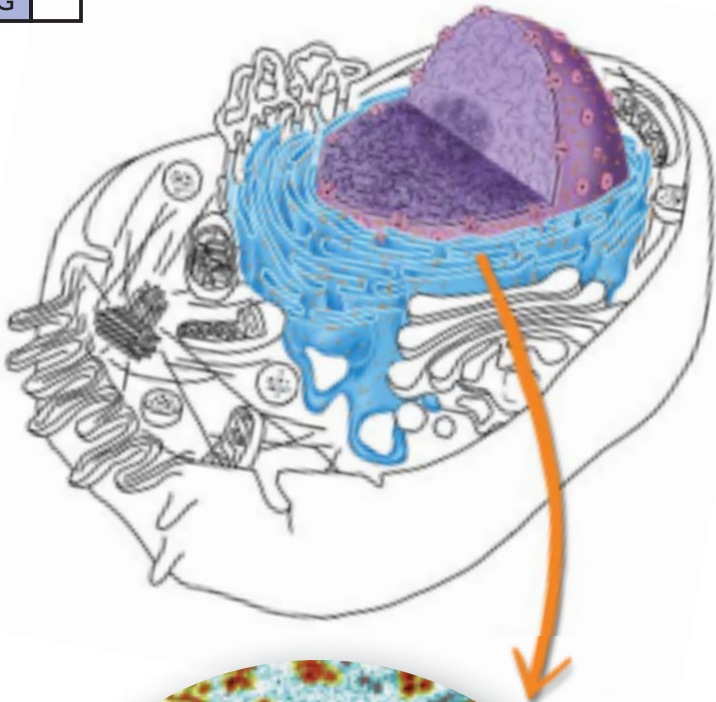


		keskimmäinen emäs				
		T	C	A	G	
alkava emäs	T	fenyylialaniini	seriini	tyrosiini	kysteiini	T
		fenyylialaniini	seriini	tyrosiini	kysteiini	C
		leusiini	seriini	lopetus	lopetus	A
		leusiini	seriini	lopetus	tryptofaani	G
	C	leusiini	proliini	histidiini	arginiini	T
		leusiini	proliini	histidiini	arginiini	C
		leusiini	proliini	glutamiini	arginiini	A
		leusiini	proliini	glutamiini	arginiini	G
	A	isoleusiini	treoniini	asparagiini	seriini	T
		isoleusiini	treoniini	asparagiini	seriini	C
		isoleusiini	treoniini	lysiini	arginiini	A
		metioniini	treoniini	lysiini	arginiini	G
	G	valiini	alaniini	asparagiinihappo	glysiini	T
		valiini	alaniini	asparagiinihappo	glysiini	C
		valiini	alaniini	glutamiinihappo	glysiini	A
		valiini	alaniini	glutamiinihappo	glysiini	G

DNA:n koodaavan juosteen
emäskolmikkoja vastaavat aminohapot. Taulukkoa luetaan valitsemalla ensimmäisen emäksen (alkava emäs) kirjain vasemmalta, keskimmäinen emäs ylhäältä ja kolmas emäs oikealta (lopettava emäs). Näin voidaan muodostaa DNA:n emäsjärjestyksen pohjalta rakentuva aminohappoketju. Esimerkiksi ATG on metioniini. Aminohappotaulukko voidaan esittää myös DNA:n mallijuosteen tai lähetti-RNA:n mukaan. (Ks. liite s. 134.)

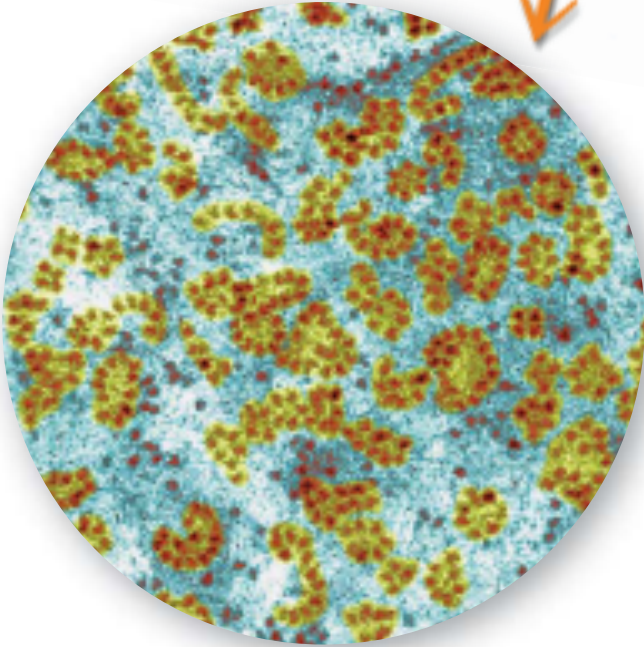
Proteiinisynteesiin osallistuvat:

Tuma	DNA:n sijaintipaikka.
DNA	Sisältää geneettisen informaation.
Tumajyvänen	Ribosomien rakenneosien synty.
Ribosomi	Proteiinisynteesin tapahtumapaikka.
Lähetti-RNA	Siirtää DNA:n viestin solulimaan.
Siirtäjä-RNA	Tuovat tietyn aminohapon ribosomille.
Aminohappoketju	Proteiinit rakentuvat aminohappoketjusta.
Solulimakalvosto	Varastoi ja kuljettaa aminohappoketjuja.
Golgin laite	Muokkaa ja pakkaa aminohappoketjuja.



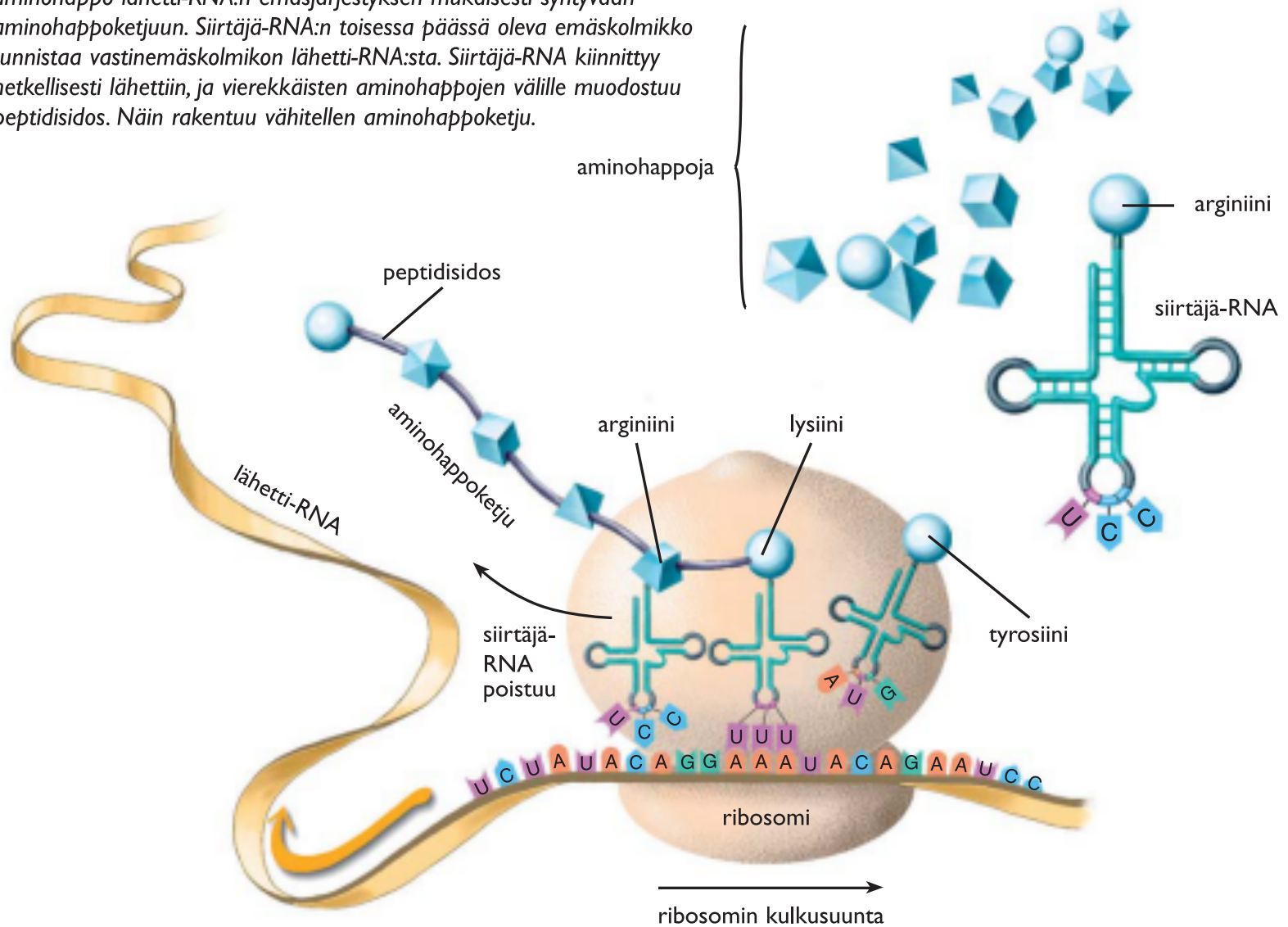
Lähetti-RNA vie DNA:n viestin solulimaan

Lähetti-RNA:t siirtyvät tumahuokosten kautta solulimaan, jossa on myös siirtäjä-RNA:ta ja ribosomeja. Lähetti sisältää DNA:sta kopioidun ohjeen proteiinin rakentamiseksi. Solulimassa tämä ohje tulkitaan kolmen emäksen ryhminä, emäskolmikkoina. DNA:n neljä erilaista emästä voivat järjestäytyä 64:ksi erilaiseksi emäskolmikoksi. Proteiinit rakentuvat 20 erilaisesta aminohaposta, joten kutakin aminohappoa vastaa yksi tai useampi lähetin emäskolmikko. Lisäksi lähetissä on aina sekä aloitus- että lopetuskolmikko. Proteiinin rakentamisen aloittava emäsyhdistelmä on lähetti-RNA:ssa aina AUG. Proteiinisynteesin lopettavia emäskolmikkoja on kolme erilaista yhdistelmää. DNA:n koodaavan juosteen emäskolmikot ja niitä vastaavat aminohapot on esitetty sivun yläosan taulukossa.



Jos solu valmistaa paljon proteiineja, sillä on myös paljon ribosomeja. Esimerkiksi yhdessä maksasolussa niitä voi olla miljoonia. Ribosomeja on sekä vapaana solulimassa että kiinnittyneenä solulimakalvostoon. Niitä on myös mitokondrioissa ja viherhiukkasissa.

Siirtäjä-RNA:n tehtävänä on kuljettaa sen toisessa päässä kiinni oleva aminohappo lähetti-RNA:n emäsjärjestyksen mukaisesti syntyvään aminohappoketjuun. Siirtäjä-RNA:n toisessa päässä oleva emäskolmikko tunnistaa vastinemäskolmikon lähetti-RNA:sta. Siirtäjä-RNA kiinnittyy hetkellisesti lähettiin, ja vierekkäisten aminohappojen välille muodostuu peptidisidos. Näin rakentuu vähitellen aminohappoketju.



Proteiinien valmistus tapahtuu ribosomien pinnalla

Solulimaan tullut lähetti-RNA tarttuu alkupäästään ribosomiin, joka liukuu lähettiä pitkin, kunnes saavuttaa aloituskolmikon. Lähetti-RNA:n tuoman viestin tulkintaan tarvitaan solulimassa olevia siirtäjä-RNA-molekyylejä. Siirtäjän toiminta perustuu siihen, että sen toisessa päässä on emäskolmikko ja toisessa päässä tätä emäskolmikka vastaava aminohappo. Siirtäjä-RNA:n emäskolmikko voi kiinnittyä lähetti-RNA:han, jos se löytää tästä vastinemäskolmikon. Esimerkiksi emäskolmikko UAC voi tarttua vain emäskolmikko AUG:hen. Kun ribosomin kohdalla oleva lähetin emäskolmikko ja siirtäjän emäskolmikko vastaavat toisiaan, liittyy siirtäjän emäskolmikko hetkeksi lähettiin. Siirtäjän toisessa päässä oleva aminohappo irtoaa ja liittyy entsyymien avustamana rakenteilla olevaan aminohappoketjuun. Aminohappojen välille muodostuu peptidisidos.

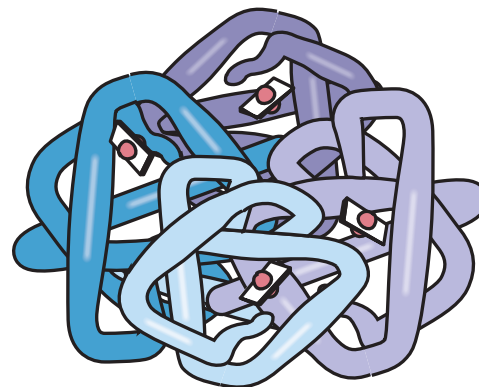
Ribosomi liukuu lähetin pinnalla, ja samalla yhä uusia aminohappoja liittyy syntyvään ketjuun, kunnes saavutaan lopetuskolmikon kohdalle. Tällöin aminohappoketjun valmistus loppuu, ja lähetti irtoaa ribosomista. Yleensä syntynyt aminohappoketju eli polypeptidi on pituudeltaan muutamasta sadasta tuhanteen aminohappoa. Koska lähetti-RNA:n emäsjärjestys riippuu DNA:sta, määrää DNA:n emäsjärjestys aminohappojen järjestyksen syntyvässä aminohappoketjussa. Näin aminohappoketju rakentuu geenin perinnöllisen ohjeen mukaan. Kun ketjuja on syntynyt tarvittava määrä, loppuu proteiinisynteesi. Entsyymit pilkkovat lähetti-RNA:n nukleotideiksi. Siirtäjä-RNA:t hakevat aina uuden aminohapon ja säilyvät solulimassa odottaen seuraavaa proteiinien valmistusta.

Aminohappoketju vaatii yleensä muokkaamista

Aminohappoketju ei vielä ole valmis proteiini. Proteiinista tulee toimiva vasta, kun se on saanut kolmiulotteisen rakenteensa. Proteiinin aminohappojärjestys vaikuttaa siihen, millainen tämän proteiinin kolmiulotteinen rakenne on.

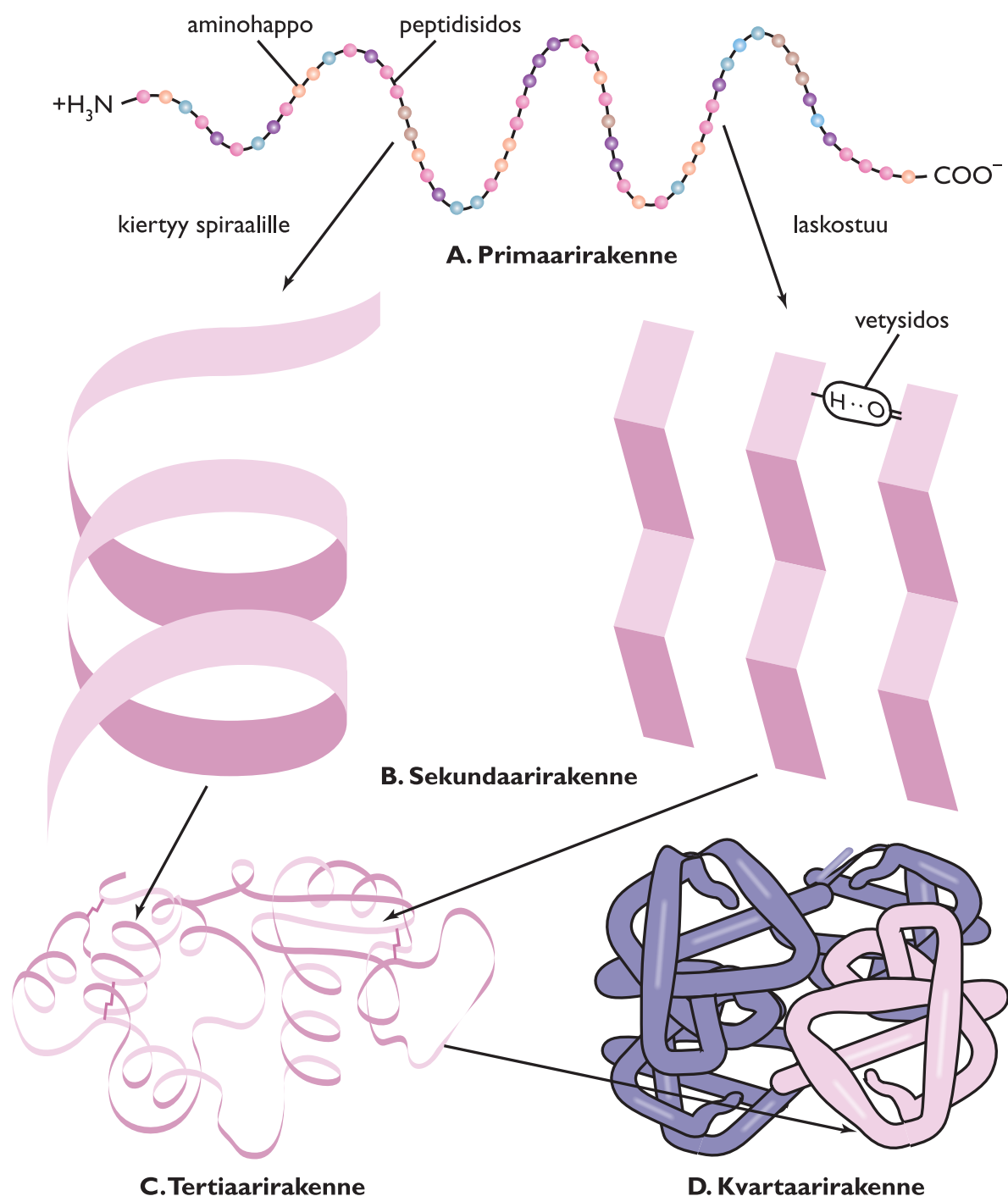
Aminohappojen järjestys on proteiinin primaarirakenne. Pitkä aminohappoketju kiertyy spiraalille ja taipuu poimuille, kun ketjun eri kohdissa olevien aminohappojen välille muodostuu vetysidoksia. Tätä sanotaan proteiinin sekundaarirakenteeksi. Aminohappoketju taipuu vielä kolmiulotteiseksi

tertiäarirakenteeksi ja juuri tämän rakenteen määrää aminohappojen järjestys. Proteiinilla voi olla myös kvartaarirakenne, joka syntyy, kun kaksi tai useampia tertiäarirakenteisia aminohappoketjuja liittyy yhteen.

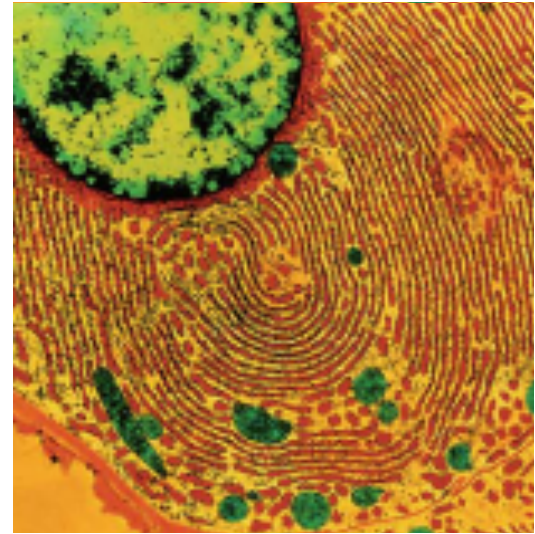
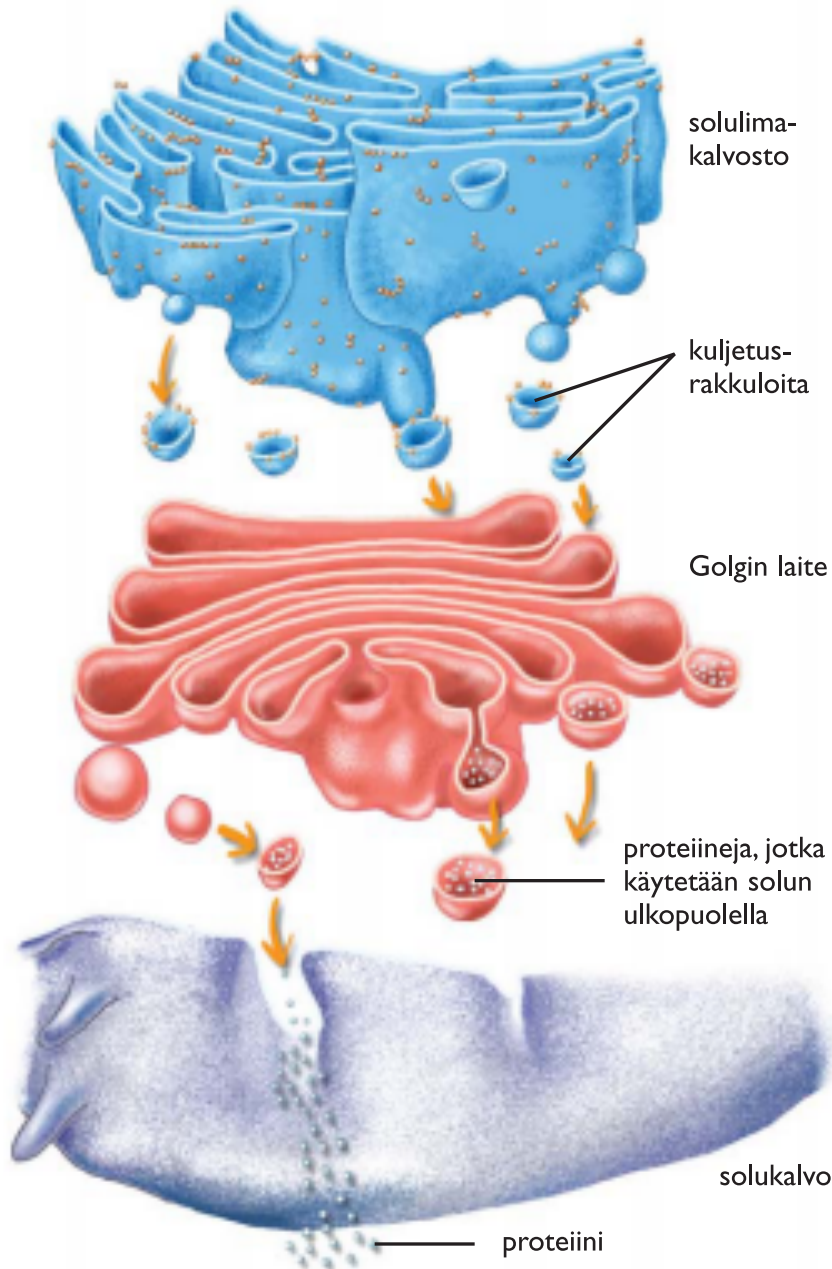


Hemoglobiini on punasolun proteiini, joka on muodostunut neljästä aminohappoketjusta.

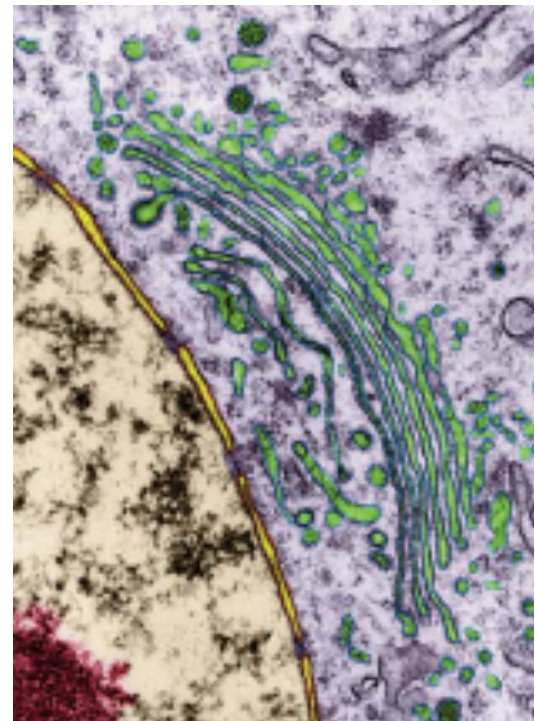
Proteiinien rakennetasot



Proteiinin käyttötarkoitus määrää, mitä sille seuraavaksi tapahtuu. Solun ulkopuolella käytettävät proteiinit, kuten ruuansulatusentsyymit, siirtyvät ensin solulimakalvostoon ja Golgin laitteeseen muokattaviksi ja pakattaviksi, jonka jälkeen ne eritetään solun ulkopuolelle. Rakennneosiksi tarvittavat proteiinit käsitellään muuten samalla tavalla, mutta niitä ei yleensä eritetä solun ulkopuolelle, vaan käytetään solussa.



Solulimakalvoston kalvosäkkien ja putkien muodostama yhtenäinen verkosto täyttää suuren osan solusta. Sen tärkeimmät toiminnot liittyvät lipidien ja proteiinien valmistamiseen, muokkaamiseen ja kuljettamiseen. Kalvostossa on runsaasti entsyymejä, jotka ohjaavat aineiden rakentamista.

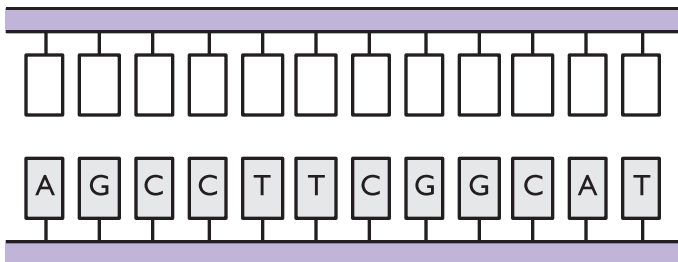


Golgin laite on kalvopusseista ja pienistä rakkuloista muodostunut soluelin, joka toimii solun valmistamien proteiinien muokauspaikkana. Sitä kutsutaan usein solun postituskeskukseksi, koska siellä eritettäviin proteiineihin lisätään hiilihydraatteja ja pakataan sen jälkeen eriterakkuloihin.

TEHTÄVÄT

1. Nimeä emäket DNA:han

- a. Merkitse kaikki emäket paikalleen.



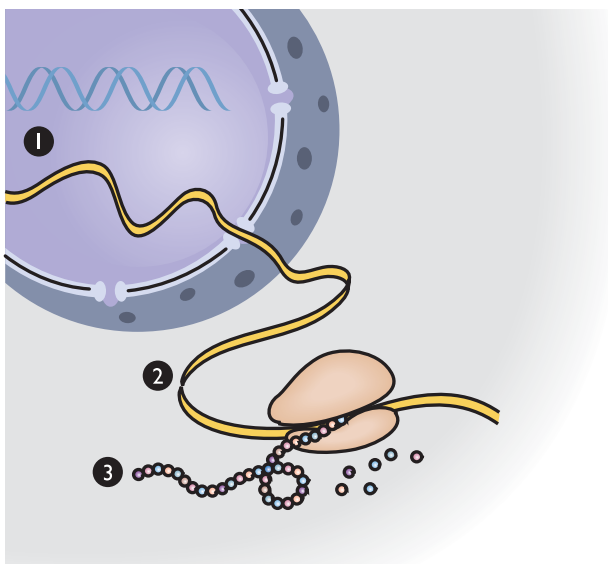
- b. Mitkä seikat tekevät DNA-molekyylistä ainutlaatuisen?
c. Mitä kertoo evoluutiosta se, että kaikilla eliöillä perinnöllinen informaatio on tallennettu DNA:han.

2. Käsitteitä

Määrittele seuraavat käsitteet ja selitä, miten ne liittyvät toisiinsa: proteiini, kromosomi, aminohappo, geeni ja DNA.

3. Proteiinisynteesin vaiheet

Selosta oheisen kuvan avulla proteiinisynteesin vaiheet.



4. DNA:n koodista proteiiniksi

Osa erään geenin DNA:n koodaavan juosteen emäsjärjestyksestä on seuraavanlainen:

TTA CACTTG CTT GAG

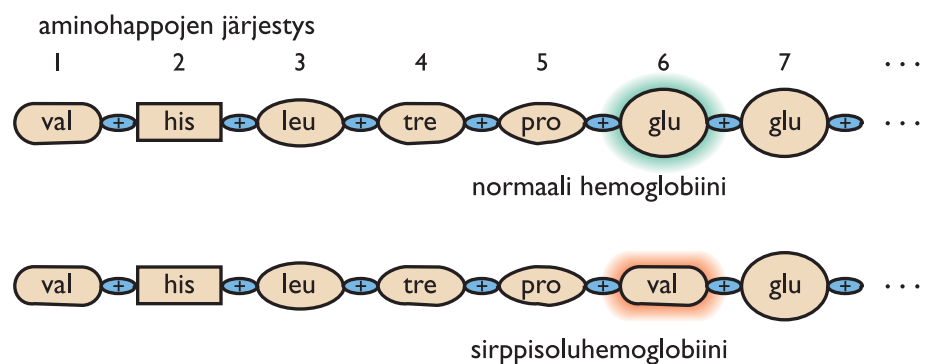
- a. Muodosta vastaava pätkä lähetti-RNA:ta.
b. Mitkä ovat siirtäjä-RNA -molekyylien emäskolmikot?
c. Käytä oppikirjan aminohappotaulukkoa ja luettele syntyvän aminohappoketjun aminohapot.
d. Mitä syntyneelle aminohappoketjulle tämän jälkeen tapahtuu?

5. DNA:n viesti voi muuttua

Monet ympäristötekijät voivat aiheuttaa muutoksia DNA:n rakenteessa. Geenimutaatio on yhden tai muutaman emäksen muutos DNA:ssa.

Sirppisoluanemiassa geenimutaation seurauksena punasolujen normaali kiekkomainen muoto muuttuu sirppimäiseksi, jolloin punasolujen hapenkuljetuskyky heikkenee. Tutki alla olevaa kuvaa normaalin hemoglobiinin ja sirppisoluhemoglobiinin aminohappojärjestyksestä ja vastaa seuraaviin kysymyksiin.

- a. Mikä muutos aminohappoketjussa on tapahtunut?
b. Selvitä aminohappotaulukon avulla, mikä muutos DNA:ssa on tapahtunut.



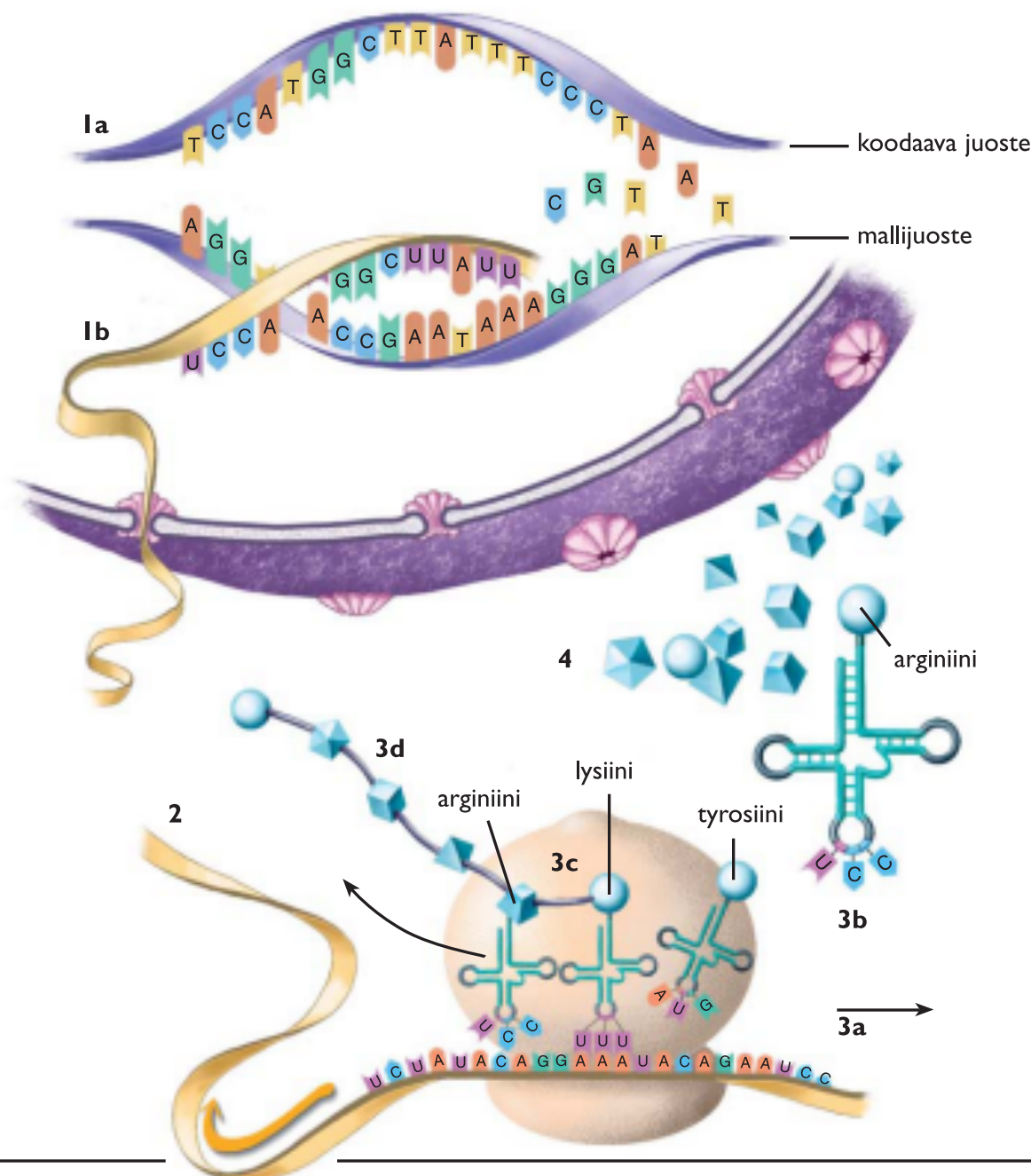
6. Eristä oma DNA:si posken limakalvon solusta

Tarvikkeet

200 ml:n keitinlasi
lasisauva
Pasteur-pipetti
hammastikku
pakastimessa jäähdytettyä etanolia (esim. Solventol)
astianpesuainetta
10 % natriumkloridiliuosta, NaCl
puhdasta vettä

- Purskuta voimakkaasti 10 ml puhdasta vettä suussasi.
- Sylkäise keitinlasiin ja lisää siihen 15 tippaa 10 % natriumkloridiliuosta Pasteur-pipetillä. Lisää vielä 15 tippaa astianpesuainetta ja sekoita rauhallisesti lasisauvalla. Astianpesuaineen vaikutuksesta solukalvot ja tumakotelo repeävät ja NaCl-ionit saavat DNA-molekyylit liittymään yhteen.
- Lisää pipetillä vähitellen ja varovasti 4 ml jääkylmää etanolia lasin pohjalle.
- DNA saostuu valkeina säikeinä.
- Kerää DNA-säikeet hammastikulla. Näin eristetyssä DNA:ssa on mukana myös proteiineja.

1. RNA-synteesi eli lähetti-RNA:n syntyminen tumassa.
 - a. DNA-molekyyli avautuu.
 - b. Lähetti-RNA syntyy DNA:n ohjeen mukaan.
2. Lähetti-RNA siirtyy muokkauksen jälkeen tumasta solulimaan ja kiinnittyy siellä ribosomiin.
3. Proteiinisynteesi
 - a. Ribosomi liukuu lähetti-RNA:ta pitkin, kunnes saavuttaa aloituskolmikon.
 - b. Siirtäjä-RNA:t tuovat paikalle niihin kiinnittyneet aminohapot.
Siirtäjä-RNA:n toisessa päässä oleva emäskolmikko vastaa tiettyä aminohappoa.
 - c. Siirtäjä-RNA:n toisessa päässä oleva emäskolmikko tunnistaa vastinkolmikon lähetistä ja kiinnittyy siihen. Siirtäjä-RNA jättää aminohapon paikalle.
 - d. Aminohapoista muodostuu aminohappoketju lähetti-RNA:n määräämässä järjestyksessä.
 - e. Aminohappoketju laskostuu.
4. Aminohappoketjun lopullinen muokkaus proteiiniksi tapahtuu yleensä solulimakalvostossa.
5. Proteiini on valmis siirrettäväksi sinne, missä sitä tarvitaan.



Avainsanat

aminohappo
 DNA
 emäskolmikko
 geeni
 Golgin laite
 koodaava juoste
 lähetti-RNA
 mallijuoste
 nukleotidi
 polypeptidi
 primaarirakenne
 proteiini
 proteiinisynteesi
 ribosomi
 sekundaarirakenne
 siirtäjä-RNA
 solulimakalvosto
 tertiaarirakenne

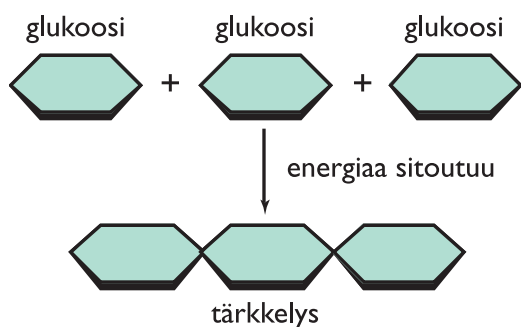
Entsyymit pilkkovat ja rakentavat molekyylejä

Ilman ruuansulatusentsyymejä eläin kuolisi nälkään, koska yhden aterian sisältämien ravintoaineiden pilkkominen kestäisi kymmeniä vuosia. Muutkin elämää ylläpitävät reaktiot tapahtuisivat liian hitaasti tai eivät käynnistyisi lainkaan ilman entsyymejä. Entsyymit ovat kemialliselta rakenteeltaan proteiineja, jotka rakentuvat geenien ohjeiden mukaan.

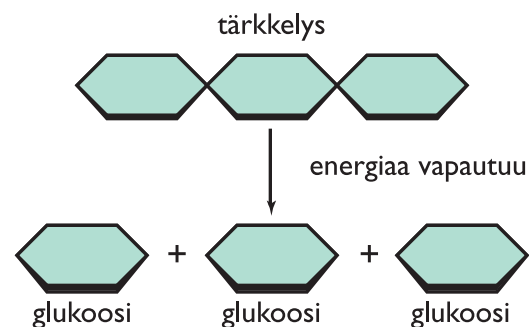
Entsyymit ovat proteiineja

Elävissä soluissa tapahtuu jatkuvasti valtava määrä kemiallisia reaktioita. Solut tarvitsevat energiaa ja raaka-aineita. Solut valmistavat ja hajottavat monenlaisia kemiallisia yhdisteitä. Kaikki nämä kemialliset reaktiot ovat solujen aineenvaihduntaa. Aineenvaih-

dunnan reaktiot tapahtuisivat soluissa liian hitaasti, ellei niissä olisi mukana entsyymejä. Proteiinisynteesissä valmistuvia entsyymejä tarvitaan solussa tuhansia, koska kuhunkin kemialliseen reaktioon tarvitaan oma entsyyminsä.



Anabolinen aineenvaihdunta rakentaa, ja siinä sitoutuu energiaa. Kuvassa glukoosimolekyyleistä rakentuu tärkkelysmolekyyli.



Katabolinen aineenvaihdunta hajottaa, ja siinä vapautuu energiaa. Kuvassa tärkkelysmolekyyli hajoaa glukoosimolekyyleiksi.

Aineenvaihduntaan kuuluu kahdenlaisia reaktioita: hajottavia (katabolisia), joissa aineita hajotetaan yksinkertaisemmiksi yhdisteiksi, sekä rakentavia (anabolisia), joissa aineita yhdistetään monimutkaisemmiksi yhdisteiksi. Soluhengitys on esimerkiksi katabolisesta aineenvaihdunnasta. Siinä glukoosi hajoaa monivaiheisen reaktiosarjan kautta vedeksi ja hiilidioksidiksi, ja samalla glukoosista vapautuva energia sitoutuu ATP-molekyyleihin.

Anabolista aineenvaihduntaa on esimerkiksi se, kun kasvisoluissa glukoosimolekyylit liittyvät pitkäksi ketjuksi ja muodostuu tärkkelystä. Tärkkelysmolekyylin rakentaminen tarvitsee solussa ATP-molekyyleihin sitoutunutta energiaa.

Entsyymit nopeuttavat solujen kemiallisia reaktioita

Useimmat kemialliset reaktiot tapahtuvat niin hitaasti, ettei niitä juurikaan huomaa. Jos esimerkiksi sakkaroosia (taloussokeria) laitetaan vesilasiin ja annetaan sen olla huoneenlämmössä, sen hajoaminen glukoosiksi ja fruktoosiksi kestää useita vuosia. Jos hajoaminen tapahtuisi soluissa näin hitaasti, ei elämä olisi mahdollista, sillä solujen on saatava jatkuvasti energiaa ja raaka-aineita käyttöönsä. Sakkaroosi saadaan hajoamaan vesilasissa muutamassa sekunnissa, jos veteen lisätään sakkaraasientsyymiä.

Entsyymit saavat solun aineenvaihduntareaktiot tapahtumaan jopa 10^8 – 10^{20} -kertaisella nopeudella verrattuna ilman entsyymejä tapahtuviin reaktioihin.

Entsyymit ovat geenien ohjeiden mukaan soluissa valmistuneita proteiineja, jotka nopeuttavat kemiallisia reaktioita alentamalla reaktion käynnistymiseen tarvittavan energian määrää. Tällaisia reaktioita nopeuttavia aineita kutsutaan katalyyteiksi. Suurin osa entsyymeistä toimii solujen sisällä, mutta eräät entsyymit toimivat solujen ulkopuolella. Esimerkiksi ruuansulatuskanavassa entsyymit nopeuttavat ravintoaineiden pilkkoutumista pienemmiksi molekyyleiksi.

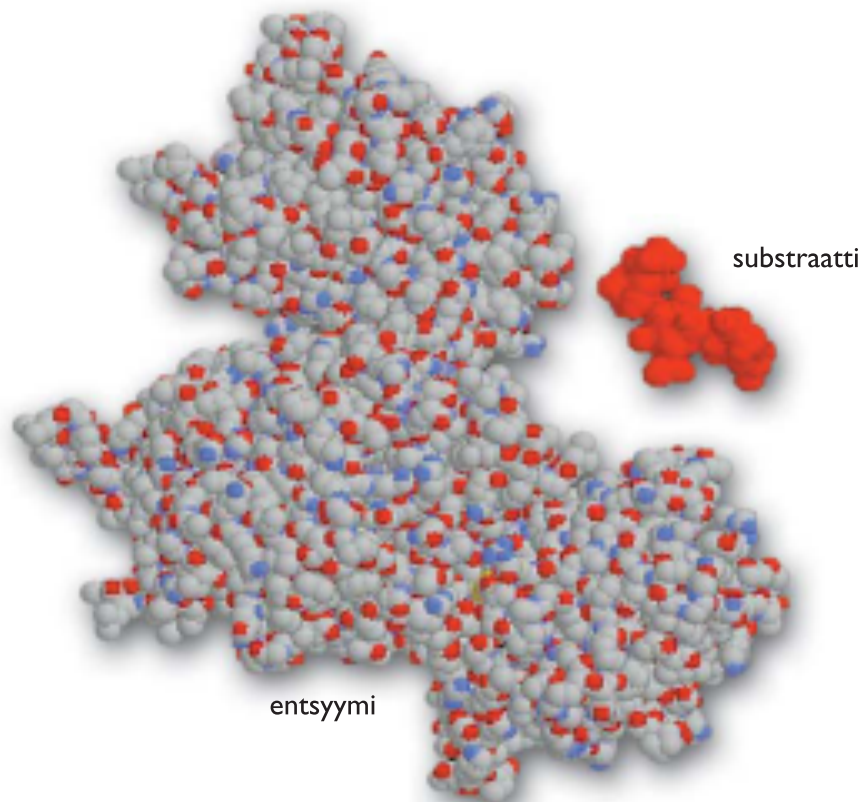
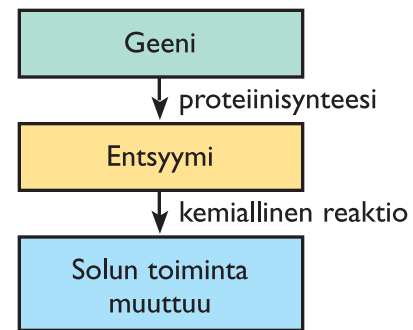
Jokainen entsyymi katalysoi vain tiettyä reaktiota

Kun entsyymit katalysoivat reaktioita, reagoiva aine eli substraatti kiinnittyy joksikin aikaa entsyymin aktiiviseen kohtaan. Syntyy entsyymi-substraattikompleksi, ja kemiallinen reaktio käynnistyy. Reaktiossa substraatti muuttuu lopputuotteiksi. Kun reaktio on ohi, entsyymi irtoaa substraatista. Entsyymimolekyyli ei muutu reaktiossa lainkaan, ja irrottuaan se voi katalysoida uusia substraatteja. Kukin entsyymi voi katalysoida vain tietyn tyyppisen substraatin reaktiota (vertaa avain ja lukko), joten soluissa tarvitaan tuhansia erilaisia entsyymejä.

Jotkin entsyymit ovat toimintakykyisiä vasta, kun niihin on liittynyt erillinen osa, kofaktori. Kofaktori voi olla metalli-ioni tai joku orgaaninen molekyyli, esimerkiksi B-vitamiini. Ne muuttavat yleensä entsyymin aktiivisen kohdan substraatille sopivaksi. Muun muassa tästä syystä kivennäis- ja hivenaineet sekä vitamiinit ovat välttämättömiä ruokavaliossamme.

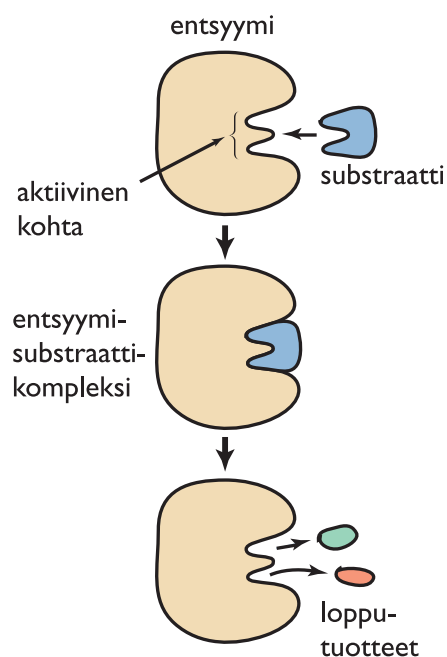
Joskus entsyymin rakenne voi olla virheellinen tai sitä ei valmistu soluissa lainkaan. Esimerkiksi laktoosi-

intoleranssi johtuu siitä, että ohutsuolen soluissa ei valmistu laktoosia eli maitosokeria hajottavaa laktaasientsyymiä, tai sitä valmistuu liian vähän. Maitosokeri ei hajoa ohutsuolessa eikä siten pääse imeytymään verenkiertoon. Se siirtyy paksusuoleen, jossa se hajoaa bakteerien aiheuttaman käymisreaktion seurauksena. Lopputuotteina syntyy maitohappoa, vettä ja kaasuja. Seurauksena ovat kiusalliset oireet, kuten mahan turvotus, ilmavaivat, ripuli ja vatsakivut.

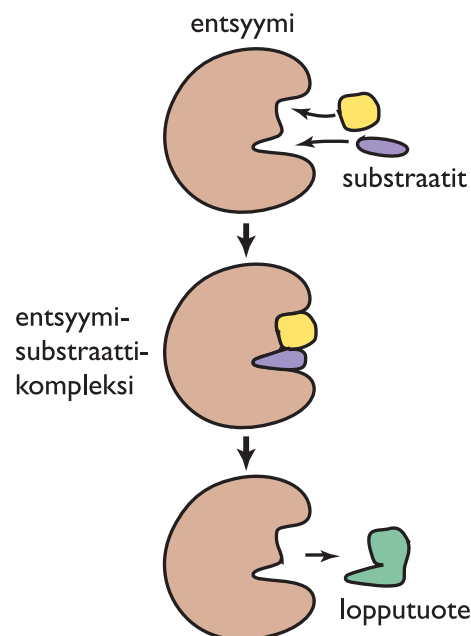


Aminohappojärjestys määrää entsyymin kolmiulotteisen rakenteen. Kolmiulotteinen rakenne puolestaan määrää, mitä kemiallista reaktiota entsyymi katalysoi. Kuvan tietokone-malli havainnollistaa entsyymin ja substraatin kolmiulotteista rakennetta.

Katabolinen reaktio



Anabolinen reaktio



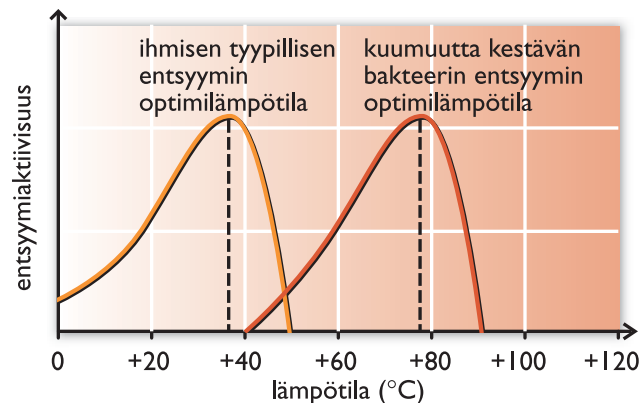
Entsyymit katalysoivat sekä katabolisia (hajottavia) että anabolisia (rakentavia) aineenvaihduntareaktioita. Reaktion jälkeen entsyymi on valmis katalysoimaan uuden reaktion.

Kun liha kypsyy uunissa, sen rakenne muuttuu pehmeämmäksi ja mureammaksi, koska korkea lämpötila hajottaa lihan proteiinien sisäiset sidokset. Tällöin proteiinien kolmiulotteinen rakenne aukeaa ja aminohappoketju suoristuu, jolloin proteiini menettää toimintakykynsä. Tätä sanotaan proteiinin denaturoitumiseksi. Sama ilmiö esiintyy keitetessä kananmunia, jolloin valkuainen saostuu eli koaguloituu. Tämä johtuu siitä, että denaturoituneet proteiinimolekyylit liittyvät toisiinsa ja sitovat samalla itseensä vettä. Denaturoitumista voivat aiheuttaa myös happamuuden muutokset, väkevät suolaliuokset, mekaaninen käsittely (esim. kananmunan valkuaisen vatkaaminen), erilaiset säteilyt ja raskasmetallit.

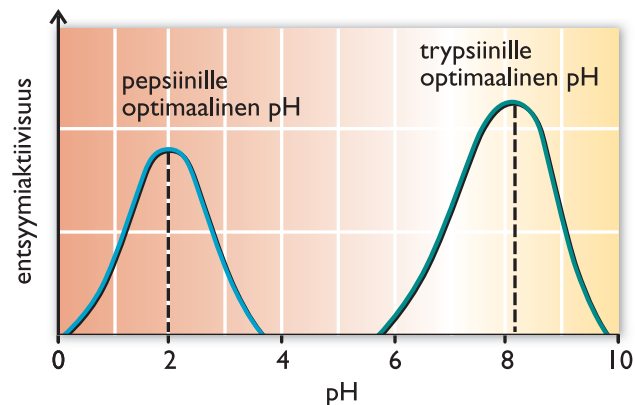


Entsyymireaktioon vaikuttavia tekijöitä

Lämpötilan noustessa entsyymiaktiivisuus kasvaa vain tiettyyn rajaan asti. Liiallinen lämpötilan nousu aiheuttaa entsyymien kolmiulotteisen rakenteen muuttumisen, jolloin entsyymi ei voi enää toimia. Entsyymeillä on tietty optimi- eli ihannelämpötila, jossa niiden aktiivisuus on suurin. Ihmisellä entsyymit toimivat parhaiten $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa, mutta kuumien lähteiden bakteereilla ne toimivat parhaiten lähes $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Lämpötilan laskiessa entsyymitoiminta hidastuu, mutta ei lopu kokonaan edes $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Tästä syystä pakastetut ruoka-aineet eivät säily ikuisesti.



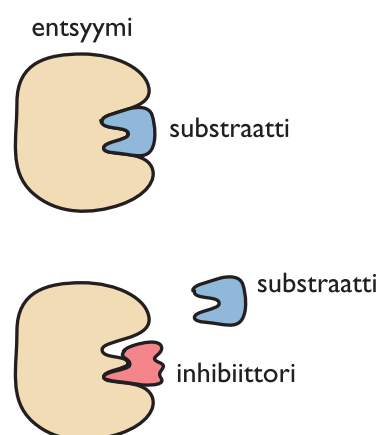
Useimpien entsyymien pH-optimi on 6–8, mutta esimerkiksi mahan pepsinientsyymi toimii parhaiten, kun pH on 2. Näin happamassa ympäristössä lähes kaikkien mahaan joutuneiden mikrobien entsyymit lakkaavat toimimasta. Samalla itse mikrobit tuhoutuvat, koska niiden kemialliset reaktiot eivät voi tapahtua ilman entsyymejä.



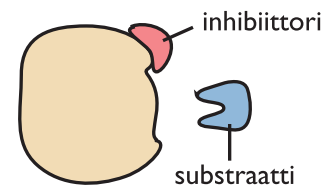
Inhibiittorit ovat aineita, jotka estävät entsyymin toiminnan. Ne voivat pysäyttää reaktion kulun kolmella eri tavalla.

1. Inhibiittori voi kiinnittyä substraatin tilalle entsyymin aktiiviseen kohtaan estäen substraatin kiinnittymisen siihen.

Esimerkiksi jotkut antibiootit ja sulfalääkkeet kiinnittyvät bakteerien aineenvaihdunnassa toimivien entsyymien aktiiviseen kohtaan, jolloin bakteerien elintoiminnot hidastuvat ja ne kuolevat.



2. Jotkin inhibiittorit muuttavat entsyymimolekyylin muotoa, jolloin substraatti ei voi kiinnittyä sen aktiiviseen kohtaan. Syanidi, arsenikki ja hermokaasut estävät tällä tavalla joidenkin elämän kannalta välttämättömien reaktioiden tapahtumisen soluissa ja ovat sen takia tappavan myrkyllisiä.



3. Soluissa on myös luonnollisia inhibiittoreita. Kun entsyymireaktion lopputuotetta on riittävästi, voi lopputuote estää entsyymin tuotannon solussa toimimalla luonnollisena inhibiittorina. Näin soluissa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden tasapaino säilyy.

Monet arkielämän tuotteet sisältävät entsyymejä

Useimmat pyykinpesujauheet sisältävät entsyymejä. Pesujauheiden proteaasientsyymit pilkkovat vaatteista likatahrojen proteiineja. Entsyymit toimivat hyvin sekä alhaisissa että korkeissa lämpötiloissa, joten ne säilyttävät toimintakykynsä kaikissa pesuohjelmissa. Pyykinpesujauheissa käytetään myös rasvoja pilkkovia lipaasientsyymejä.

Proteaasientsyymejä käytetään myös elintarviketeollisuudessa ruuan valmistusaineiden muokkaamiseen ja elintarvikkeiden ominaisuuksien parantamiseen. Niiden avulla saadaan esimerkiksi liha pehmenemään sekä mehut ja oluet kirkastumaan, kun entsyymit

poistavat niistä proteiinisamentumat. Vähälaktoosisista maitotuotteista maitosokeria on pilkottu laktaasientsyymien avulla. Hillojen, mehujen, leivonnaisten ja makeisten makeuttamisessa käytetty maissisiirappi valmistetaan amylaasin ja muiden sokereita pilkkovien entsyymien avulla maissin tärkkelyksestä. Tärkkelys pilkotaan makeammalta maistuvaksi sokeriksi, glukoosiksi.

Kivipestyt farkut eivät enää ole oikeasti kivipesyt, sillä aiemmin käytetty kivipesu vahingoitti puuvillakankaan kuituja, mikä teki kankaasta heikosti kulutusta kestävä. Samanlainen lopputulos saadaan nykyään aikaan entsyymeillä kankaan kuituja vahingoittamatta.

Tuotteita, joiden valmistuksessa käytetään entsyymejä.



TEHTÄVÄT

1. Entsyymit

Miten solu valmistaa entsyymejä? Selitä entsyymien rakenne, tehtävät ja toiminta soluissa.



2. Entsyymien toiminta omenassa



A

B

C

Omenalohko C on juuri leikattu. A ja B on leikattu kaksi päivää sitten, mutta B:tä pidettiin minuutti kiehuva vedessä heti leikkauksen jälkeen. Selitä, mistä johtuu omenalohkojen A, B ja C erilainen ulkonäkö.

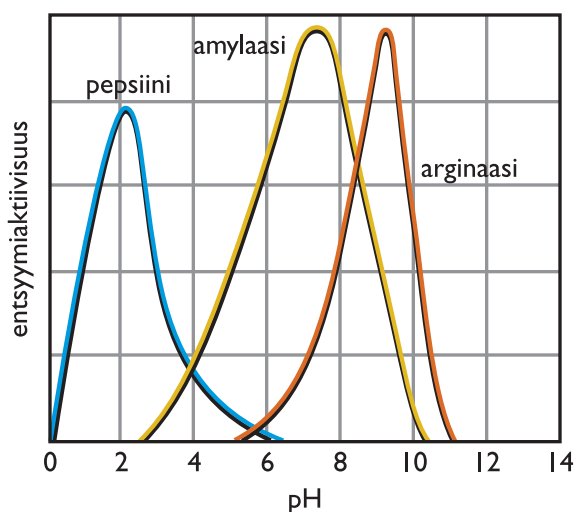
3. Haiman lipaasientsyymien toiminta

Lipaasi on haimasta erittyvä entsyymi, joka hajottaa rasvat rasvahapoiksi ja monoglyserideiksi. Taulukossa on esitetty rasvojen hajoaminen lipaasin katalysoimassa reaktiossa viidessä eri lämpötilassa. Indikaattorin väri on punainen, kun rasvat eivät ole hajonneet, ja keltainen, kun kaikki rasvat ovat hajonneet. Tulkitse taulukon tulokset.

Koeputki	°C	Alkup. väri	Lopull. väri
1	+0	Punainen	Punainen
2	+10	Punainen	Oranssi
3	+40	Punainen	Keltainen
4	+60	Punainen	Oranssi
5	+100	Punainen	Punainen

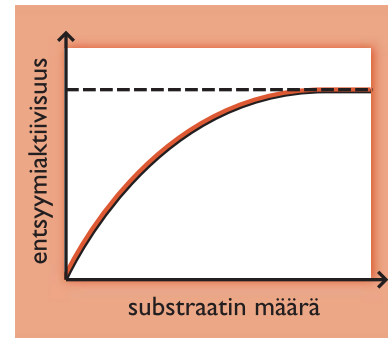
4. pH:n vaikutus entsyymiaktiivisuuteen

Selitä, mitä kuvaajat osoittavat pH:n vaikutuksesta ihmisen entsyymien toimintaan.



5. Entsyymiaktiivisuuden lisääntyminen substraatin määrän lisääntyessä

Miten selität sen, että entsyymiaktiivisuus kasvaa substraatin määrän lisääntyessä vain tiettyyn rajaan asti?



6. Pyykinpesujauheen pesutehon tutkiminen

Erään entsyymejä sisältävän pyykinpesujauheen pesutehoa tutkittiin. Puuvillakangastilkkuja tahrittiin verellä. Kankaiden puhdistumista testattiin ravistelmalla tilkkuja erilaisissa liuoksissa (kaikkien liuosten lämpötila oli +18 °C), ja saatiin taulukossa A esitetyt tulokset. Lisäksi tutkittiin, onko lämpötilalla vaikutusta pesujauheen tehoon. Tämän tutkimuksen tulokset on esitetty taulukossa B. Selitä taulukoissa esitetyt tutkimustulokset ja perustele selityksesi.

Taulukko A: Erilaisten liuosten tehokkuus veritahrin poistajana

Liuos, jossa kangasta ravisteltiin	Aika (h), jossa veritahra lähti pois
Vesi	Ei lähtenyt 12 h:ssa
1 % entsyymejä sisältävä pyykinpesujauhe	5
1 % entsyymejä sisältävä keitetty pyykinpesujauhe	9
1 % pyykinpesujauhe, joka ei sisällä entsyymejä	10

Taulukko B: Entsyymejä sisältävän pyykinpesujauheen teho eri lämpötiloissa

°C	20	30	40	50	60	70	80
Veritahra poistui (h)	5	2	0,5	0,5	2	3	3

7. Entsyymien toiminnan tutkiminen

Useimmissa elävissä soluissa muodostuu katalaasi-entsyymiä. Katalaasi pilkkoo soluissa vetyperoksidia (H_2O_2) vedeksi (H_2O) ja hapeksi (O_2). Vetyperoksidia syntyy sivutuotteena soluhengitysreaktioissa.



Tämä reaktio on soluille välttämätön. Jos vetyperoksidia kertyy soluun, solu kuolee.

Tässä laboroinnissa käytetään kuolleita soluja, joissa katalaasia ei enää muodostu. Entsyymit säilyvät kuitenkin soluissa toimintakykyisinä useita viikkoja solujen kuoleman jälkeen, jos soluja säilytetään viileässä.

Tarvikkeet

maksaa

30 % H_2O_2 -liuosta

0,5 mol HCl-liuosta

0,5 mol NaOH-liuosta

jäitä

koeputkia 10 kpl

vedenpitävä merkkauuskynä

koeputkiteline

koeputkipihdit

pipetti

pumppetti

veitsi

leikkuulauta

pinsetit

lasisauva

lämpömittari

pH-paperia

2 keitinlasia

keittolevy ja kattila

A. Miten katalaasi reagoi maksasolussa?

1. Pipetoi 2 ml vetyperoksidia koeputkeen 1 ja lisää sinne pieni pala maksaa. Työnnä maksapala lasisauvan avulla vetyperoksidiin. Mitä koeputkessa tapahtui? Koeta koeputken pintaa ennen ja jälkeen reaktion.
2. Kaada neste koeputkesta 1 toiseen koeputkeen 2. Mitä kaatamasi neste sisältää? Kokeile, mitä tapahtuu, kun lisäät tähän nesteeseen uuden maksapalan.
3. Lisää 2 ml vetyperoksidia koeputkeen 1 maksapalan päälle.
4. Selitä tekemiesi kokeiden perusteella, miten katalaasi toimii maksasoluissa.

B. Miten lämpötila vaikuttaa katalaasin toimintaan?

1. Laita pieni pala maksaa koeputkeen 1. Pane se kattilaan vesihauteeseen kiehuvaan veteen ja anna sen kiehua siellä ainakin 5 minuuttia. Nosta koeputki kattilasta koeputkipihdeillä.
2. Anna koeputken jäähtyä. Pipetoi siihen 2 ml vetyperoksidia.
3. Laita pieni pala maksaa kahteen koeputkeen (2 ja 3) sekä lisäksi 2 ml vetyperoksidia kahteen koeputkeen. Laita koeputki 2 ja toinen vetyperoksidia sisältävä putki 37°C vesihauteeseen. Laita koeputki 3 ja toinen vetyperoksidia sisältävä putki noin 0°C vesihauteeseen (jähdytä vesi jääpalojen avulla). Anna putkien olla vesihauteissa ainakin 15 minuuttia.
4. Kaada vetyperoksidit vastaaviin maksapalan sisältäviin koeputkiin.
5. Arvioi reaktioiden voimakkuutta asteikolla 0–3. 0 = ei reaktiota, 1 = pieni reaktio, 2 = voimakas reaktio ja 3 = erittäin voimakas reaktio. Laadi tuloksista taulukko ja selitä tulokset.

C. Miten pH vaikuttaa katalaasin toimintaan?

1. Pipetoi kolmeen koeputkeen (1–3) 2 ml vetyperoksidia.
2. Lisää putkeen 1 HCl-liuosta tippa kerrallaan, kunnes pH on 3.
3. Lisää putkeen 2 NaOH-liuosta tippa kerrallaan, kunnes pH on 10.
4. Säädä putken 3 pH seitsemään tiputtamalla sinne joko NaOH-liuosta tai HCl-liuosta.

Sekoita lasisauvalla kunkin koeputken sisällä oleva liuos jokaisen tipan jälkeen ja mittaa liuoksen pH pH-paperilla. Tiputa lasisauvalla liuosta pH-paperille ja katso väriasteikosta pH-luku. Muista puhdistaa ja kuivata lasisauva ennen jokaista pH-mittausta.

5. Lisää kaikkiin kolmeen koeputkeen pieni pala maksaa.
6. Arvioi reaktioiden voimakkuutta samalla asteikolla kuin kohdissa B. Laadi tuloksista taulukko ja selitä tulokset.

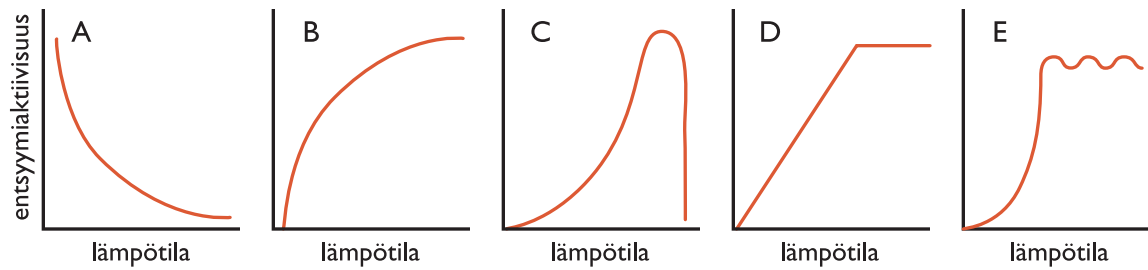
8. Entsyymien toiminta

- Selosta entsyymien rakenne ja toimintatapa.
- Mikä oheisista kuvaajista esittää parhaiten entsyymiaktiivisuuden ja lämpötilan välistä riippuvuutta? Perustele valintasi.

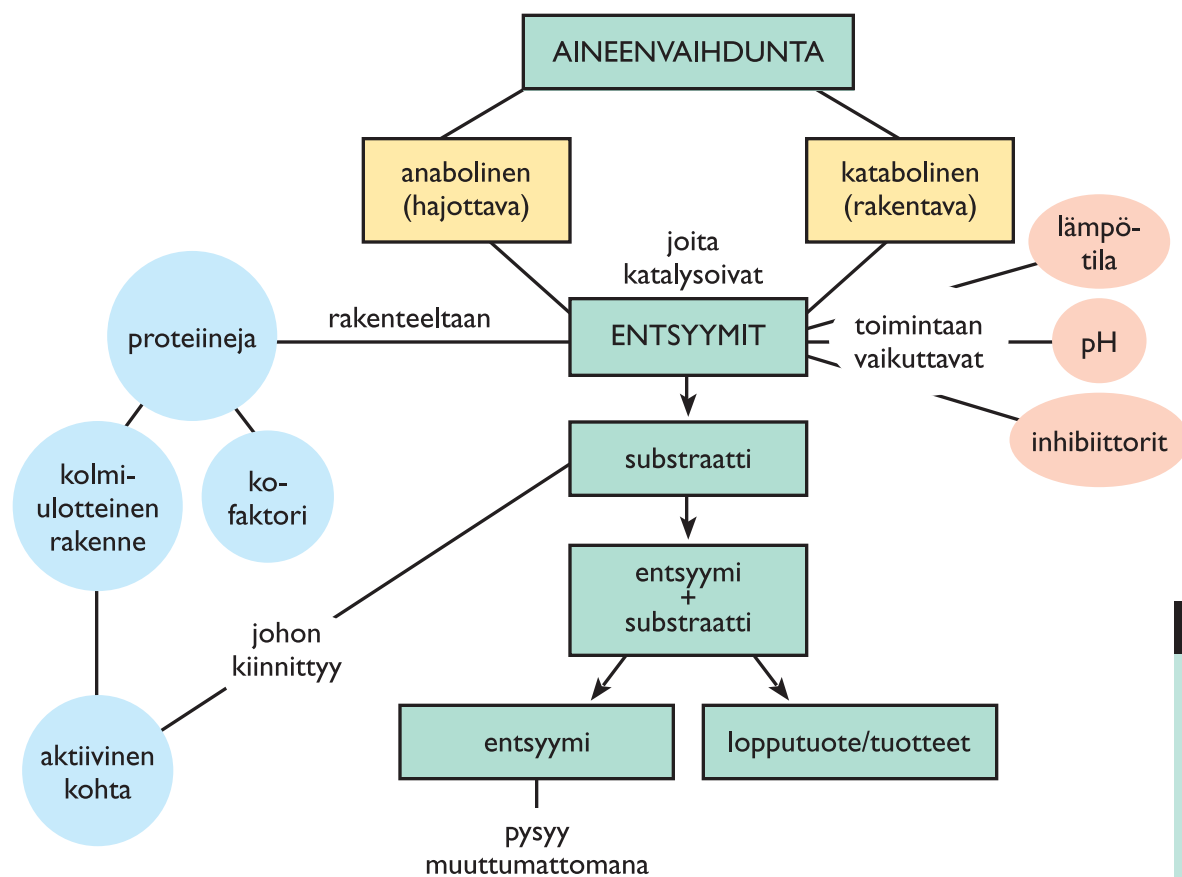


9. Pyykinpesujauhetutkimus

Suunnittele ja toteuta tutkimus, jossa vertailet entsyymejä sisältävän ja entsyymejä sisältämättömän pyykinpesujauheen pesutehoa toisiinsa.



Y h t e e n v e t o



Avainsanat

aineenvaihdunta
aktiivinen kohta
anabolinen
entsyymi
inhibiittori
katabolinen
katalyytti
kofaktori
lopputuote
proteiini
substraatti



6.

Solut ovat toimivia kokonaisuuksia

Edellisissä luvuissa on käsitelty yksittäisten solujen rakenteita ja toimintaa. Solut toimivat kuitenkin yhdessä monimutkaisina kokonaisuuksina. Niiden toiminnan yksityiskohdista saadaan jatkuvasti uutta tieteellistä tietoa. Tässä luvussa kerrataan ja kootaan kokonaiskuvaa erilaisista soluista.

Solujen perusrakenne ja -toiminta ovat samankaltaisia

Kaikkien solujen toiminnoissa ja rakenteissa on paljon samankaltaisuutta. Kuitenkin erilaistumisen tuloksena solut ovat muodoltaan ja toiminnaltaan erilaisia. Myös saman eliön sisällä solut ovat erilaistuneet hoitamaan eri tehtäviä.

Geenit ohjaavat kaikkien solujen toimintaa. Tumallisilla soluilla geenit ovat tuman sisällä sijaitsevilla kromosomeilla. Esitumallisilla soluilla ei ole tumakotelon ympäröimää tumaa, ja niiden geenit ovat solulimassa yhdessä kromosomeissa ja pienissä DNA-

renkaissa, plasmideissa. DNA:n ohjeen mukaan solussa rakennetaan proteiineja, esimerkiksi entsyymejä.

Solut tarvitsevat elääkseen energiaa, niissä rakentuu tarvittavia aineita ja niistä poistuu kuona-aineita. Tumallisilla eliöillä energian sitomisesta vastaavat viherhiukkaset ja vapauttamisesta mitokondriot, esitumallisilla nämä reaktiot tapahtuvat poimuttuneissa kalvorakenteissa. Kaikkien solujen suojana on solukalvo. Se huolehtii aineiden siirtymisestä soluun ja sieltä ulos sekä välittää viestejä.

Solun rakenne ja toiminta

Eläinsolu

Lysosomi

Lysosomit ovat kalvon ympäröimiä rakkuloita, jotka sisältävät entsyymejä. Entsyymit hajottavat soluihin tulleita ravintoaineita, jätteitä ja kuolleita soluelimiä. Kun solu kuolee, lysosomien entsyymit hajottavat koko solun. Lysosomien lisäksi soluissa on muita entsyymejä sisältäviä rakkuloita.

Ribosomi

Ribosomit ovat pieniä, pyöreitä soluelimiä, jotka kelluvat vapaana solulimassa tai ovat kiinnittyneinä solulimakalvostoon. Ribosomit rakentuvat RNA:sta ja proteiineista. Niiden pinnalla tapahtuu proteiinisynteesi.

Solulimakalvosto

Solun sisäosassa on solulimakalvostoa, joka muistuttaa rakenteeltaan solukalvoa. Kalvosto voi olla sileää tai sen pinnalla voi olla ribosomeja. Solulimakalvostoissa valmistetaan ja muokataan proteiineja ja lipidejä. Se osallistuu aineiden kuljetukseen.

solulima

tuma

solukalvo

Keskusjyvänen

Eläinsoluissa on kaksi keskusjyvää eli sentriolia. Niiden välille muodostuu sukkularihmoja, joita tarvitaan solun jakautuessa.

Mikroputket

Soluissa on erilaisia proteiineista muodostuneita mikroputkia. Ne muodostavat solun tukirangan, joka antaa eläinsolulle muodon. Jotkin solut pystyvät liikkumaan siimojen ja ripsien avulla, joissa on myös mikroputkia.

Mitokondrio

Mitokondriot rakentuvat sileästä ulkokalvosta ja pönnäkköisestä sisäkalvosta. Mitokondrioissa tapahtuu soluhengitys, ja niillä on myös omaa DNA:ta ja ribosomeja.

Golgin laite

Solulimakalvostosta kuroutuneet kalvorakku-
lat kuljettavat proteiineja Golgin laitteeseen, jossa ne muokataan, lajitellaan ja pakataan solusta ulos eritettäväksi.

Kasvisolu

Solunesterakkula (vakuoli)

Solunesterakkulat ovat erityisesti kasvisoluille tyypillisiä, solunestettä sisältäviä rakkuloita. Solu varastoi niihin vettä, jätteitä ja muita aineita. Vanhoissa kasvisoluissa vakuolit ovat suuria ja voivat täyttää lähes koko solun. Vakuolit pitävät yllä myös kasvisolujen nestejännitystä.

Tuma

Tumaa ympäröi tumakotelo, joka on muodostunut kahdesta kalvosta. Siinä on aukkoja, tumahuokosia, joiden kautta molekyylit voivat siirtyä tumasta solulimaan tai päinvastoin. Tumassa on myös tumajyvänen, jossa valmistuu ribosomien osia. Tuman sisällä on kullekin lajille tyypillinen määrä kromosomeja, joissa geenit eli perintötekijät sijaitsevat. Geenit ohjaavat solujen toimintaa tuottamalla erilaisia proteiineja. Soluissa on yleensä yksi tuma, mutta joissakin soluissa niitä voi olla useampiakin, esimerkiksi poikkijuovaisissa lihassoluissa. Joistakin soluista, kuten nisäkkäiden punasoluista, tuma puuttuu kokonaan.

mikroputki

solulimakalvosto

Golgin laite

ribosomi

Soluseinä

Kasvi-, levä- ja sienisolulla on solukalvon ulkopuolella soluseinä. Kasvisolujen soluseinä rakentuu pääosin selluloosasta ja sienisolujen kitiinistä.

Viherhiukkanen

Viherhiukkasia ympäröi kaksinkertainen kalvo, ja niiden sisällä on yhteyttämiskalvostoa sekä nesteen täyttämä välitila. Niillä on myös omaa DNA:ta ja ribosomeja. Fotosynteesi tapahtuu viherhiukkasissa.

Solukalvo

Soluja ympäröi kahdesta lipidikerroksesta ja niihin painuneista proteiineista muodostunut kalvo. Joskus kalvon rakenteena voi olla myös hiilihydraattimolekyylejä. Solukalvolla on seuraavat tehtävät:
– säätelee aineiden siirtymistä soluun ja sieltä pois
– vastaanottaa kemiallisia viestejä.

Peroksisomissa

entsyymit hajottavat solun kannalta tarpeettomia aineita. Peroksisomeja on sekä eläin- että kasvisoluissa.

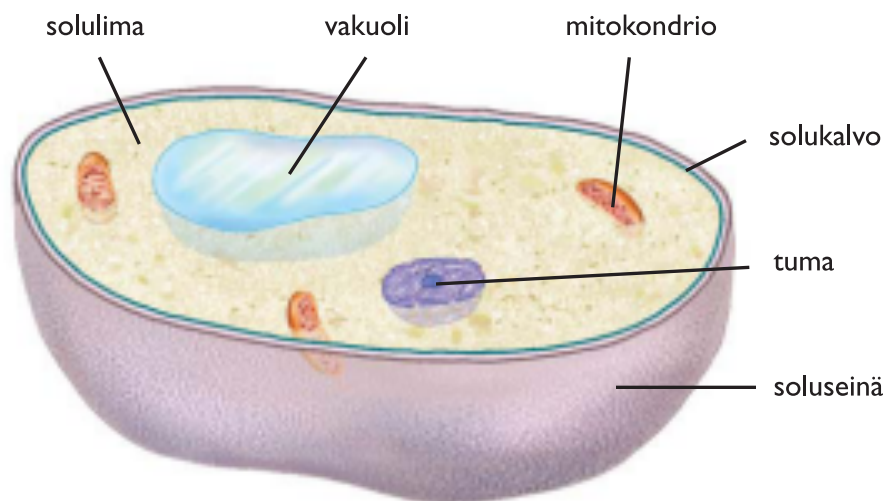
Solulima

Solulima on solun sisällä olevaa nestettä, josta suurin osa on vettä. Lisäksi siinä on hiilihydraatteja, lipidejä, proteiineja ja epäorgaanisia ioneja. Solulimassa tapahtuu jatkuvasti tuhansia kemiallisia reaktioita.

mitokondrio

Sienisolu

Useimmilla sienillä soluseinä on rakentunut kitiinistä, joka on vahvaa, mutta joustavaa. Kitiini on monimutkainen hiilihydraatti ja samaa yhdistettä ovat myös hyönteisten ja muiden niveljalkaisten ulkoiset tukirakenteet.



Esitumallinen solu

Kromosomi

Esitumallisista soluista puuttuu tumakotelon ympäröimä tuma. Niillä on solulimassa vain yksi rengasmaisen kromosomi (DNA-molekyyli). Solulimassa voi lisäksi olla pieniä, erillisiä DNA-renkaita, plasmideja.

Ribosomit

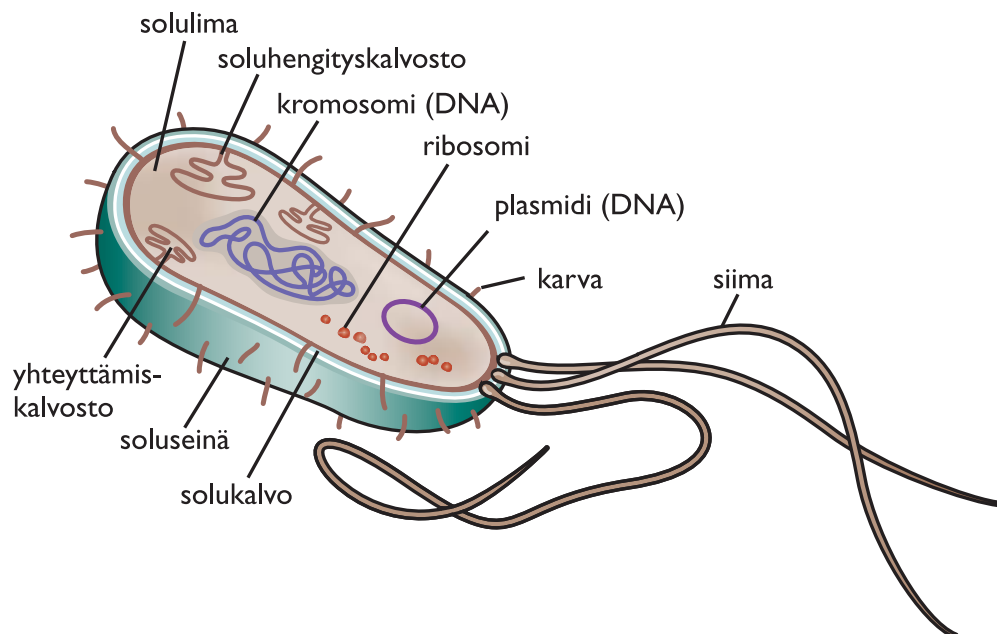
Proteiinisynteesi tapahtuu ribosomien pinnalla.

Kalvostot

Soluhengitys tapahtuu solukalvosta solulimaan poimuttuneessa kalvostossa. Syanobakteereilla solukalvosta on poimuttunut myös kalvoja, joissa fotosynteesi tapahtuu.

Soluseinä

Useimmilla esitumallisilla soluilla on solukalvon ulkopuolella soluseinä. Se on aminohapoista ja hiilihydraateista rakentunutta mureiinia. Joillain bakteereilla voi olla soluseinän ulkopuolella limakapseli. Se suojaa tauteja aiheuttavia bakteereita tehokkaasti isäntäeliön puolustusjärjestelmältä ja antibiooteilta.



Siimat ja karvat

Jotkut bakteerit pystyvät liikkumaan solukalvosta lähtevien uimasiimojen avulla, ja joillakin on ravintoalustaan kiinnittymistä varten tarttumakarvoja.



Kokki- ja sauvabakteeri



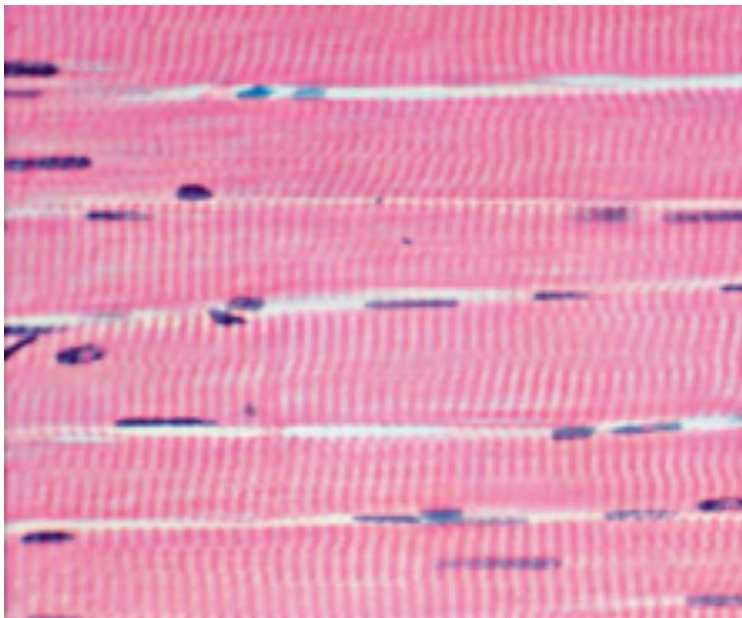
Spirillibakteeri



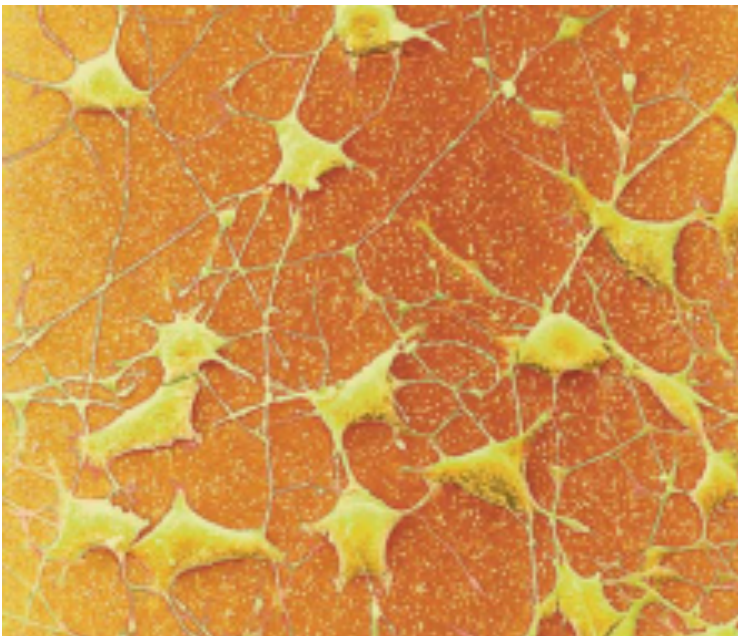
Arkki

Soluista muodostuu kudoksia tai solukoita

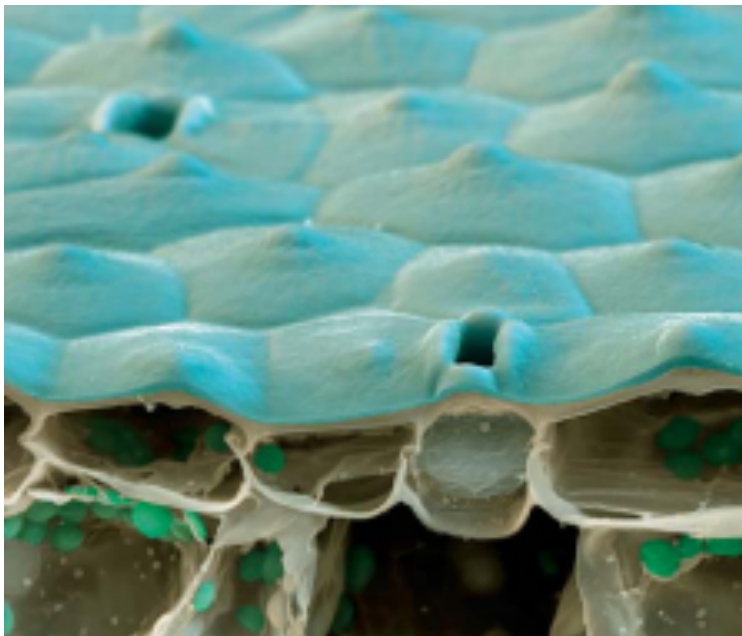
Monisoluisissa eliöissä soluja voi olla miljardeja. Monisoluisien eliöiden solut erilaistuvat alkionkehityksen aikana rakenteeltaan ja toiminnaltaan hoitamaan erilaisia tehtäviä. Veren valkosolut pystyvät muuttamaan muotoaan ja liikkumaan, siittiösoluilla on siima liikkumista varten ja hermosoluilla pitkiä ulokkeita, jotta ne pystyvät kuljettamaan tehokkaasti viestejä. Rakenteeltaan samanlaisia ja samoihin tehtäviin erikoistuneita soluja kutsutaan eläimillä kudoksiksi ja kasveilla solukoiksi. Monisoluisien eliöiden solut toimivat yhteistyössä keskenään. Tämän edellytys on solujen välinen viestintä. Solut viestivät keskenään kemiallisesti viestiaineiden välityksellä. Näitä ovat esimerkiksi hormonit ja kasvutekijät.



Poikkijuovaista lihaskudosta



Hermokudosta



Kasvisolukkoa

Esitumallisten ja tumallisten solujen erot

Esitumalliset solut
• pieniä, 1–10 µm • soluseinä mureiinia • ei tumaa, rengasmainen kromosomi solulimassa, lisäksi DNA:ta plasmideissa • vain vähän soluelimiä • bakteerit ja arkit ovat esitumallisia

Tumalliset solut
• suurempia kuin esitumalliset, 10–100 µm • soluseinä on kasvisoluilla selluloosaa ja sienisoluilla kitiiniä, eläinsoluilta se puuttuu • tumakotelon ympäröimä tuma, jonka sisällä on kromosomit, lisäksi DNA:ta mitokondrioissa ja viherhiukkasissa • monia soluelimiä • tumallisia soluja on alkueliöillä, levillä, sienillä, kasveilla ja eläimillä

TEHTÄVÄT

1. Kasvi- ja eläinsolu

Mitkä seuraavista solurakenteista esiintyvät vain kasvisoluissa (a), vain eläinsoluissa (b) tai sekä kasvi- että eläinsoluissa (c):

- tumajyvänen
- vakuoli
- viherhiukkanen
- mitokondrio
- solukalvo
- tärkkelysjyvänen
- soluseinä
- Golgin laite
- glykogeeniijyvänen
- kromosomit
- tumakotelo
- ribosomi

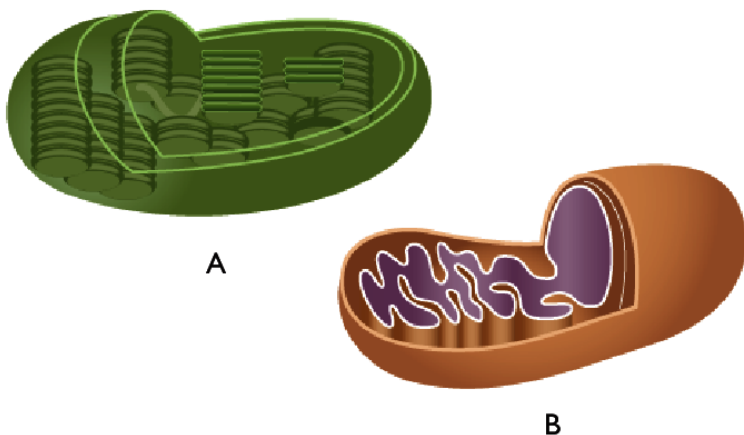
2. Tutkijana solussa

Kuvittele, että olisit jonkun solusi sisällä. Valitse mieleisesi solu ja kirjoita kertomus siitä, mitä kaikkea voit nähdä solussasi tapahtuvan? Mitä apuvälineitä sinulla pitäisi olla, jotta voit tarkkailla solua ja sen toimintaa?

3. Soluelimet

Kuvat esittävät kahta keskeistä soluelintä.

- a. Nimeä soluelimet A ja B. Mitä yhteistä niiden rakenteessa on? (2 p.)
- b. Missä soluissa esiintyy molempia soluelimiä? (1 p.)
- c. Selosta lyhyesti näissä soluelimissä tapahtuvat reaktiot. Reaktioyhtälöitä ei tarvitse kirjoittaa. (3 p.)



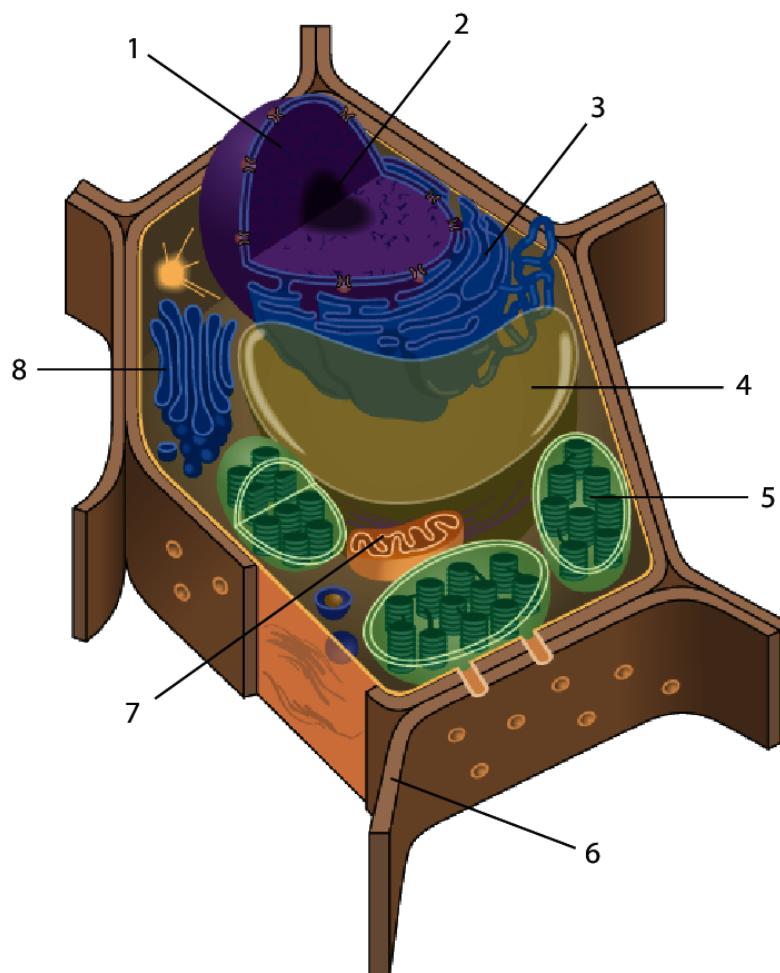
4. Tuma

Tuma on solun keskus. Selosta

- a. millainen on tumallisen eliön tuman rakenne
- b. pääpiirteet tumassa tapahtuvista toiminnoista.

5. Soluelimet

- a. Nimeä oheisen kuvan numeroidut soluelimet ja selitä lyhyesti (yhellä virkkeellä) niiden tehtävä. (4 p.)
- b. Mitkä soluelimet ovat alun perin olleet itsenäisiä soluja? Perustele päätelmäsi. (2 p.)



A photograph of three young foxes (cubs) in a natural, outdoor setting. They are light brown and white, looking towards the camera. The background is dark and out of focus, showing some green foliage. The foxes are positioned in the upper half of the frame, with their heads and shoulders visible. They appear to be standing on a light-colored, sandy or rocky ground.

7.

Solut lisääntyvät jakautumalla

Joka kevät puhkeavat koivuun uudet lehdet, ruoho kasvaa ja kasvit puskevat voimalla uusia versoja. Haavat ja murtuneet luut paranevat, ja sisiliskolle kasvaa uusi häntä menetetyn tilalle. Hedelmöittyneestä munasolusta kasvaa täysikasvuinen eliö. Kasvu ja lisääntyminen ovat elämän tunnusmerkkejä, mutta mihin ne perustuvat? Kuinka eliö pystyy kasvamaan?

Omnis cellula e cellula, solu solusta

Solujen kyky jakautua ilmenee eliöiden elämässä monella eri tavalla ja monessa eri vaiheessa, kuten lisääntymisessä, kasvussa ja kudosten uusiutumisessa. Solujen jakautumisesta on kyse esimerkiksi silloin, kun pelargonian oksasta kasvaa kokonainen uusi yksilö. Yksisoluisen eliön, esimerkiksi tohvelieläimen,

jakautuessa syntyy kaksi uutta yksilöä, jotka ovat täysin emoyksilön kaltaisia. Molemmissa tapauksissa on kyse suvuttomasta lisääntymisestä.

Suvullisessa lisääntymisessä sukusolut eli muna- ja siittiösolut yhtyvät. Hedelmöittynyt munasolu alkaa jakautua, ja yksilön kehityttyä täysikasvuiseksi voi

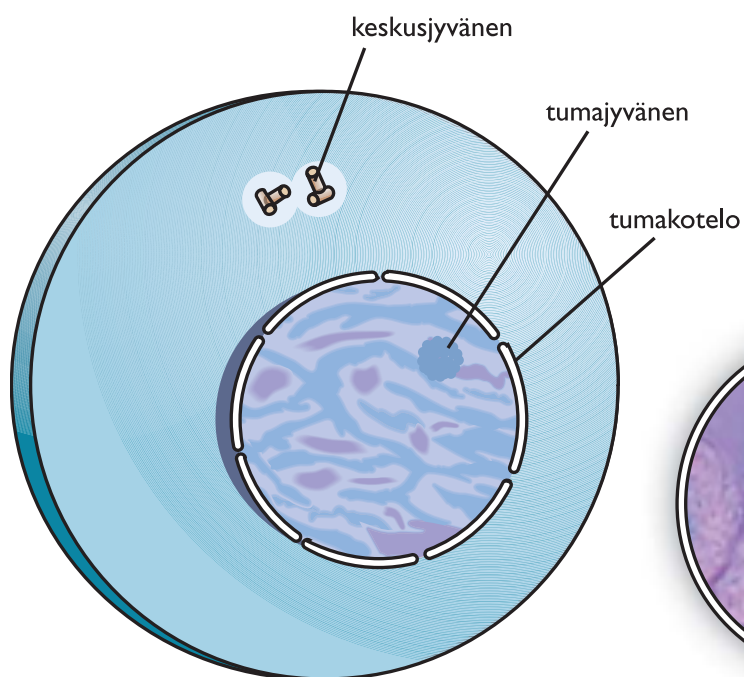
tuloksena olla tuhansia miljardeja soluja. Myös täysikasvuisen yksilön solut jakautuvat koko ajan; aikuisessa ihmisessäkin jakautuu miljoonia soluja joka sekunti. Jatkuvaan kulutukseen joutuvat solut, kuten eläinten limakalvojen solut, uusiutuvat nopeasti.

Vahingoittunut kudos tai solukko voi parantua, kun vaurioituneen kohdan lähellä olevat solut jakautuvat ja korvaavat menetetyt solut. Solun jakautumista tarvitaan myös lyhytikäisten solujen täydennykseksi. Tällaisia ovat esimerkiksi ihmisen punasolut, joita syntyy luuytimessä jatkuvasti.

Solun elämäntierrossa välivaihe on aktiivista aikaa

Solun elämäntierrossa eli solusykliissä vaihtelevat jakautumisvaiheet ja niiden väliin jäävä välivaihe. Solun elämäntierren eri vaiheiden kesto riippuu siitä, mikä solu on kysymyksessä. Esimerkiksi hiivasoluilla, jotka lisääntyvät nopeasti, jakautumisten väliin jäävä välivaihe on lyhyt. Useimmilla soluilla välivaihe on kuitenkin jopa 90 % niiden elämäntierrosta.

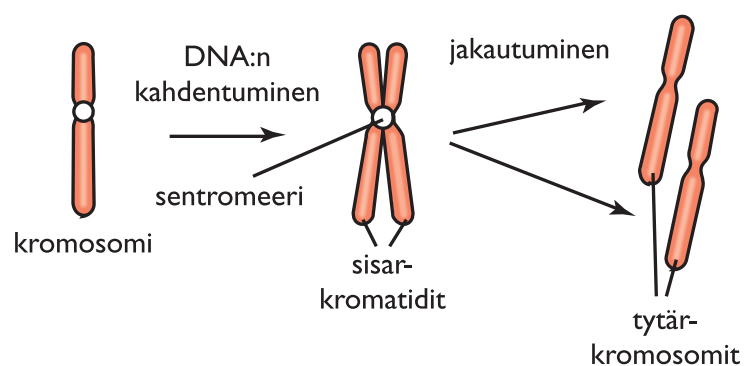
Välivaihe on solun toiminnan kannalta aktiivisinta aikaa. Se voidaan jakaa useampaan vaiheeseen. Välivaiheen aikana solu kasvaa, kun se tuottaa proteiineja ja rakentaa soluelimiä. Sen aikana tumallisilla eliöillä tuma erottuu mikroskooppikuvassa selvästi tumakotelon ympäröimänä.



DNA kahdentuu välivaiheen aikana tumassa

Kuten aiemmin todettiin, ovat solun toimintaohjeet eli perintöaines pakattuna solun DNA:han. DNA:n määrä on valtava: yhdessä tumassa sitä voi olla jopa kolme metriä. Solun välivaiheen aikana DNA on ohuena kromatiinirihmana, joten se ei näy valomikroskoopissa. Solujen jakautuessa geneettisen informaation tulee siirtyä muuttumattomana uusiin soluihin. Tämän vuoksi DNA:sta valmistuu välivaiheen aikana tarkka kopio ennen solun uutta jakautumista.

DNA:n kahdentumisen alussa kaksoiskierre avautuu, kun DNA:n emäsparien A–T ja C–G välillä olevat vetysidokset katkeavat. Kahdentumista ohjaavat useat entsyymit. Kummankin juosteen viereen alkaa kiinnittyä entsyymien avulla tumassa vapaana olevia nukleotideja emäspariperiaatteen mukaan oikeille pai-



Sisarkromatideja ovat DNA-juosteet, jotka syntyvät samasta kromosomista kahdentumisen tuloksena. Ne ovat kiinni toisissaan sentromeerin kohdalta.

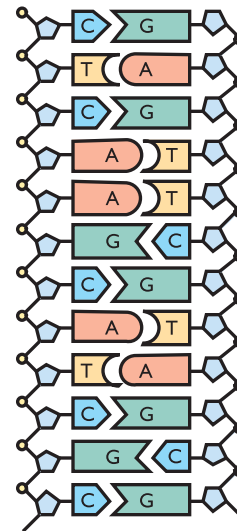
Välivaiheen aikana solussa erottuvat tuma, tumakotelo ja tumajyvänen. Valomikroskooppikuvassa sipulin juuren soluja.

koilleen. DNA:n kahdentumista tapahtuu useissa kohdissa yhtä aikaa. Kummankin alkuperäisen juosteen viereen syntyy uusi juoste liitetään lopulta yhteen viereessä olevan alkuperäisen juosteen kanssa. Tuloksena on kaksi täysin identtistä DNA-kaksoisjuostetta, jotka ovat kiinni toisissaan sentromeerin kohdalta.

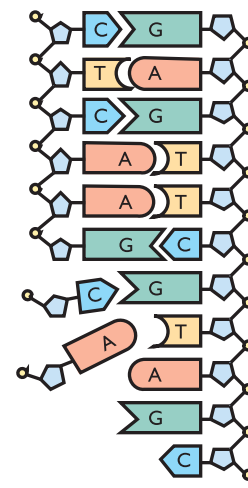
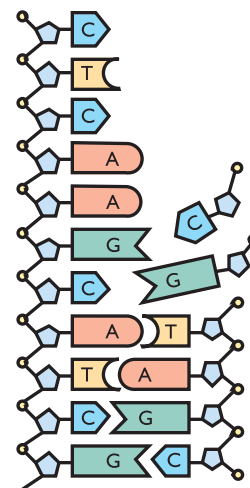
DNA:n kahdentuminen on monimutkainen tapahtumasarja, joten ei ole ihme, että siinä voi tapahtua virheitä. Entsyymit voivat korjata kopiointivirheitä, mutta kahdentumisen aikana voi syntyä myös pysyviä virheitä eli mutaatioita. Pienin virhe, joka kopioinnissa voi tapahtua, on yhden emäksen muutos. Tällöin DNA:n kahdentumisessa väärä emäs liittyy toisen paikalle, jokin emäs tippuu pois tai väliin tulee yksi lisää. Tällöin syntynyt DNA-juoste ei ole enää alkuperäisen kaltainen.



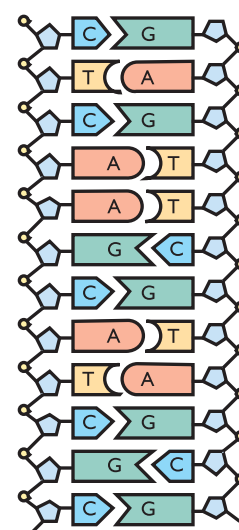
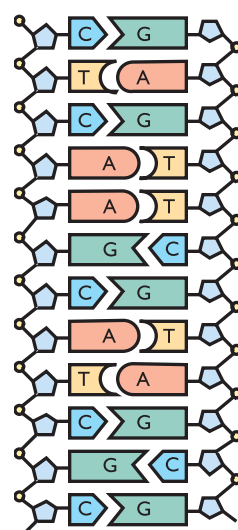
1. Solun välivaiheen aikana DNA on kaksoiskierteellä.



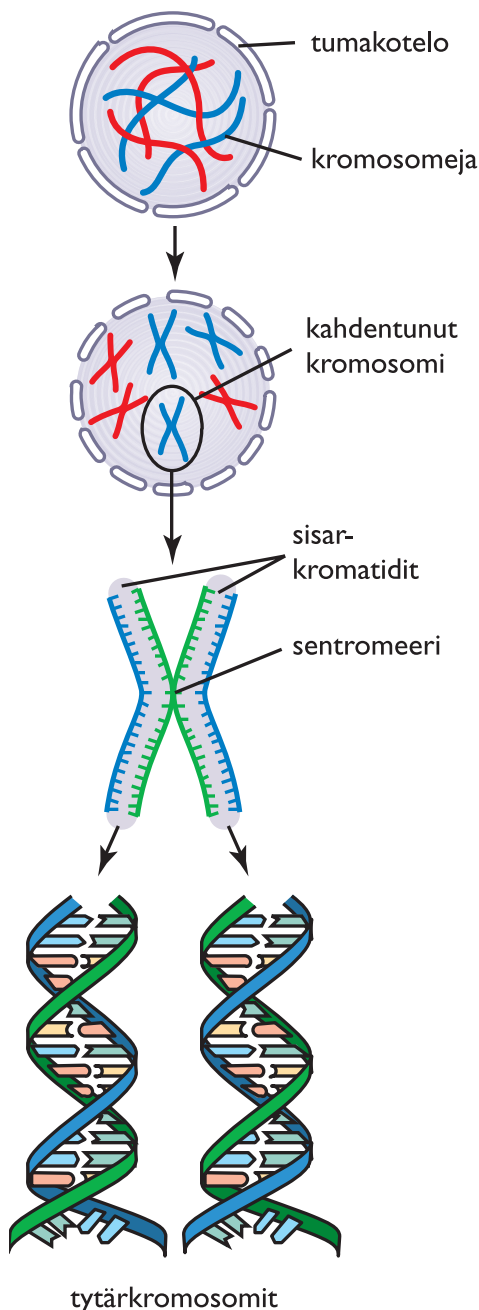
2. DNA:n kahdentumisen alussa emäsparien välissä olevat kemialliset sidokset katkeavat ja kaksoiskierre avautuu.



3. Tumassa vapaana olevat nukleotidit asettuvat avautuneiden juosteiden emäsosien mukaiseen järjestykseen.



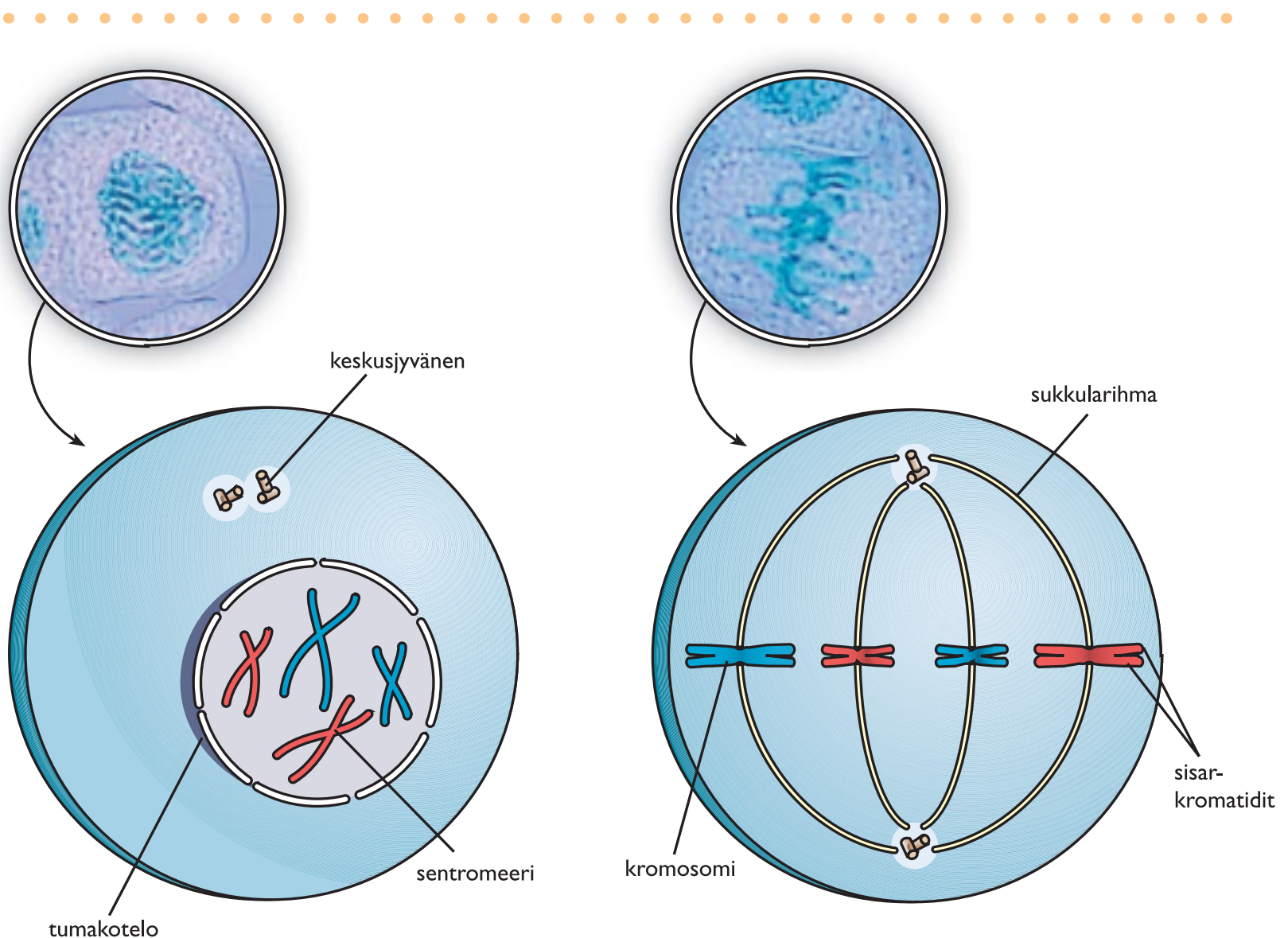
4. Tuloksena on kaksi identtistä kaksoisjuostetta.



Solun jakautumisessa perintöaines siirtyy tytärsoluun

Useimmilla soluilla välivaihe on valmistautumista seuraavaan jakautumiseen. Mitoottiseksi vaiheeksi solun elämänkierrossa kutsutaan vaihetta, jossa ensin tapahtuu tumän jakautuminen eli mitoosi ja sitten soluliman jakautuminen.

Solun jakautuminen esitetään useimmiten vaihteittaisena tapahtumasarjana. Täytyy kuitenkin muistaa, että kyse on jatkumosta, jossa eri vaiheisiin ei siirrytä hyppäyksittäin, vaan vähitellen. Kun solua tarkastellaan mikroskoopilla, vaiheet eivät ole niin kaavamaisia kuin piirroksuvissa esitetään.

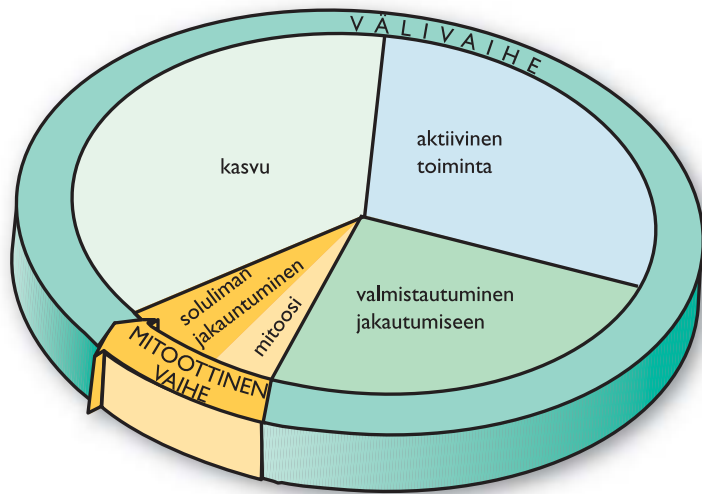


Esivaihe

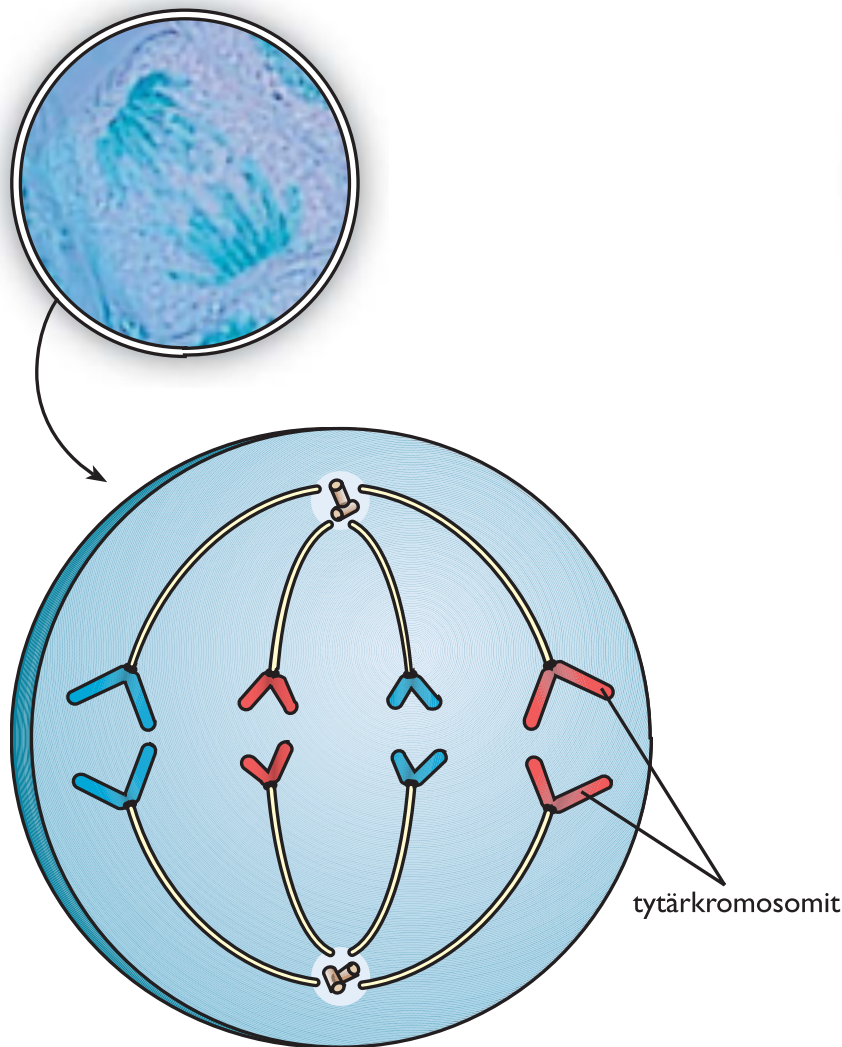
Esivaiheen (profaasi) aikana tapahtuu muutoksia sekä tumassa että solulimassa. Tumassa kromatiinirihmat pakkautuvat yhä tiiviimmin kromosomeiksi, ja ne erottuvat valomikroskoopilla. Jokainen kromosomi on kahdentunut, ja sisarkromatidit ovat kiinni toisissaan sentromeerin kohdalta. Tumajyvänen häviää näkyvistä. Solulimassa alkaa muodostua tumasukkula. Se rakentuu sukkularihmoista (mikroputkia), jotka ovat toisesta päästään kiinni keskusjyvässä eli sentriolissa. Vaikka kasvisoluissa ei ole keskusjyväsiä, niissäkin muodostuu tumasukkula. Keskusjyväset liikkuvat vähitellen solun vastakkaisille puolille. Esivaiheen jälkeen tumakotelo häviää.

Keskivaihe

Keskivaiheessa (metafaasi) sukkularihmat kiinnittyvät kromosomien sentromeerikohtiin, koska tumakotelo ei enää ole. Kromosomit ovat pakkautuneet tiukasti ja näkyvät hyvin valomikroskoopilla. Kromosomit liukuvat sukkularihmojen vetäminä solun keskitasoon ja asettuvat riviin.

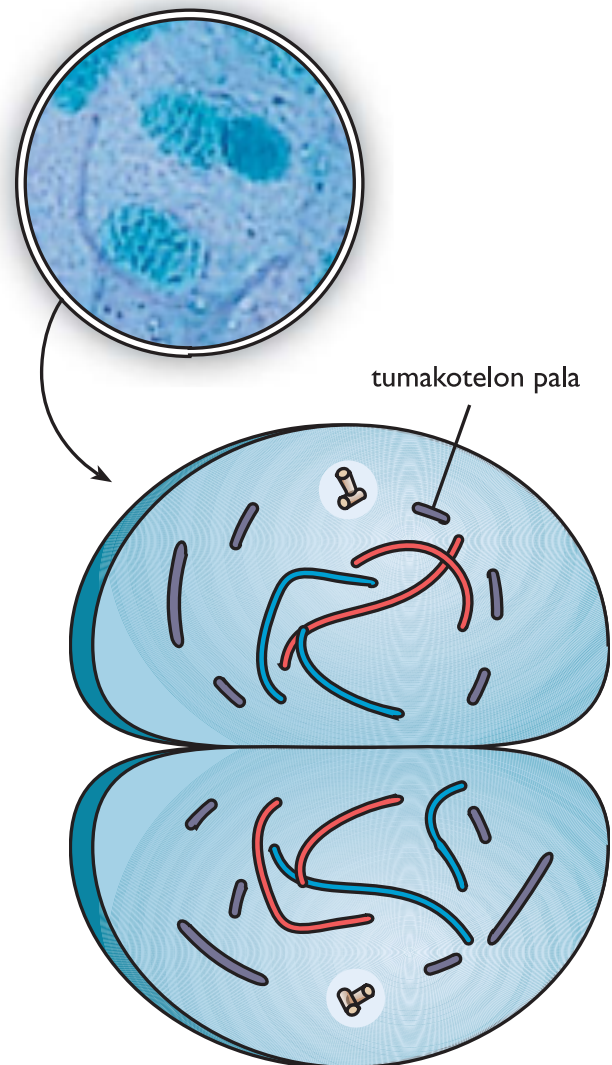


Solun elämäntierrossa on kaksi vaihetta, välivaihe ja jakautumisvaihe. Solun jakautuminen on tarkkaan säädelty tapahtumaketju. Välivaiheen aikana DNA kahdentuu. DNA:han tulleet mahdolliset virheet pyritään korjaamaan, jotta ne eivät siirry tytärsolujen perimään. Välivaiheessa solu valmistautuu jakautumiseen. Mitoosi etenee vaiheittain, mutta se voi pysähtyä, jos esimerkiksi DNA:ssa havaitaan virheitä. Soluliman jakautumisen jälkeen solun elämäntierrossa alkaa uusi välivaihe.



Jälkivaihe

Jälkivaihe (anafaasi) alkaa, kun sisarkromatidit irtoavat toisistaan sukkularihmojen vetäminä. Molemmissa puoliskoissa on tietenkin koko kromosomin perintöaines. Tytärkromosomit liukuvat rihmojen vetäminä solun vastakkaisille puolille.



Loppuvaihe

Loppuvaiheen (telofaasi) aluksi alkaa tumakotelo vähitellen muodostua molempien kromosomiryhmien ympärille. Tumakotelo muodostuu emosolun tumakotelon jäänteistä ja solulimakalvostosta. Tumasukula alkaa hävitä tarpeettomana. Vähitellen kromosomit aukeavat pakkautuneesta muodostaan kromatiinirihmaksi. Näin ne katoavat taas näkyvistä. Tumanjakautuminen eli mitoosi on ohi, ja lopputuloksena on kaksi perimältään samanlaista tumaa. Myös solulima jakautuu syntyneiden tumien ympärille.

Mitoottinen solun jakautuminen tuottaa emosolun kaltaisia tytärsoluja

Tumanjakautumisen jälkeen tapahtuu soluliman jakautuminen. Yleensä heti tumanjakautumisen jälkeen solulima ja soluelimet jakautuvat tasan syntyneiden tumien ympärille, ja niiden väliin alkaa muodostua solukalvo.

Kasvi- ja eläinsolujen soluliman jakautumiset poikkeavat hieman toisistaan. Eläinsolussa voidaan puhua halkeamisesta kahdeksi soluksi, kun taas kasvisolussa muodostuu ensin syntyvien solujen välille osa soluseinästä. Myös esitumallisten solujen jakautuminen poikkeaa tumallisten solujen jakautumisesta.

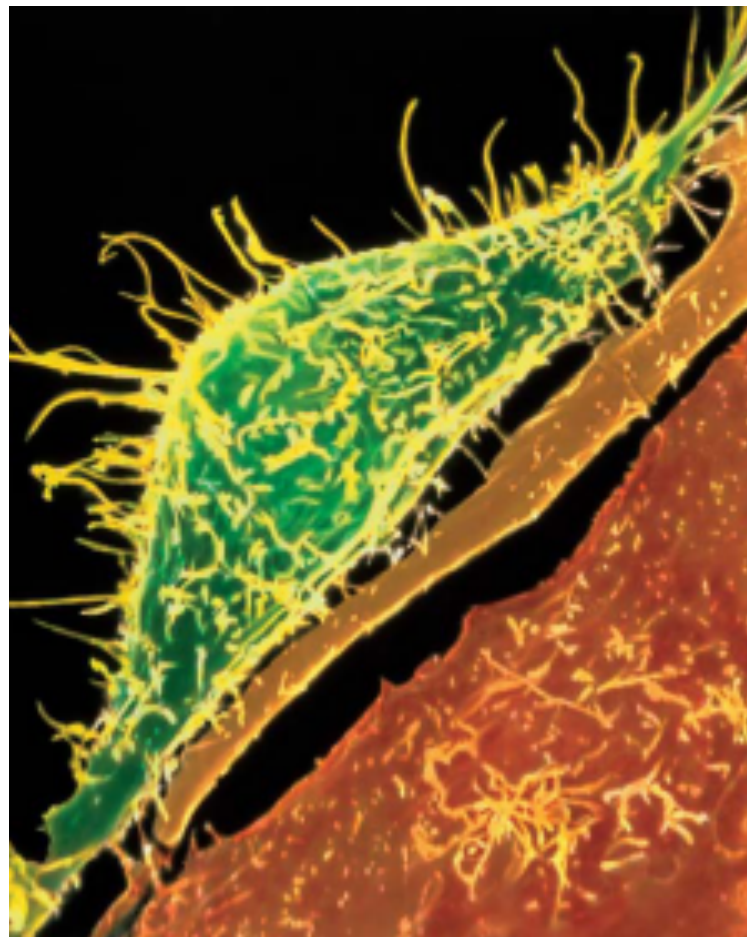
Solujen jakautuminen on välttämätöntä eliöiden kasvulle ja kehitykselle. Koska emosolujen kromosomit kahdentuvat ennen solun jakautumista, syntyviin tytärsoluihin tulee sama kromosomimäärä kuin emosoluissa oli. Näin perintöaines siirtyy muuttumattomana solusukupolvesta toiseen.

Solun jakautumisten määrä vaihtelee riippuen kudoksesta tai solukosta. On arvioitu, että yksi solu pystyy jakautumaan keskimäärin 50 kertaa. Esimerkiksi ihmisen ihon solut uusiutuvat jatkuvasti. Maksasolut säilyttävät kykynsä uusiutua, mutta uusiutuvat vain, kun se kudoksen vaurioitumisen takia on välttämätöntä. Pisimmälle erilaistuneiden solujen, kuten hermo- ja lihassolujen, kyky uusiutua on rajallinen niiden erilaistumisen jälkeen.

Solunjakautumisen vaiheita säätelevät sekä solun sisäiset että ulkoiset tekijät. Geenit säätelevät entsyymien välityksellä monien solunjakautumiseen liittyvien vaiheiden etenemistä. Solun elämänkierrossa on ikään kuin tarkistusasemia, joista riippuu, alkaako solun elämänkierron seuraava vaihe vai ei. Esimerkiksi esivaihe voi alkaa vasta, kun DNA on kahdentunut, solu on riittävän suuri ja olosuhteet ovat suotuisat. Syöpäsolut eivät reagoi normaalilla tavalla näihin sää-

telymekanismeihin. Ne lisääntyvät hallitsemattomasti ja voivat vaeltaa muihin kudoksiin ja solukoihin.

Tutkijat ovat löytäneet soluviljelmiä tutkimalla useita ulkoisia tekijöitä, jotka säätelevät solunjakautumista. Näitä ovat esimerkiksi hormonit ja kasvutekijät. Tiettyt solut tuottavat kasvutekijöitä, jotka säätelevät toisten solujen jakautumista. Esimerkiksi ihmisellä haavojen paranemiseen vaikuttaa tietty kasvutekijä, jota verihiutaleet tuottavat.



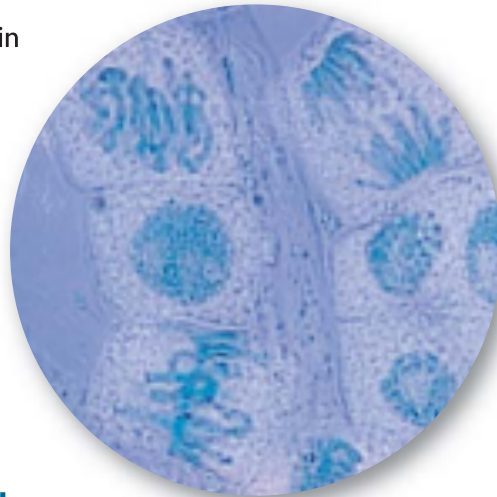
Solusta muodostuu syöpäsolu (kuvassa vihreänä), kun siinä tapahtuu useita muutoksia DNA:ssa (mutaatioita). Solu alkaa jakautua hallitsemattomasti, koska jakautumisen säätely ei toimi. Syöpäsolu voi jakautua rajattomasti toisin kuin normaalit solut, joiden jakautumisten määrä on rajallinen.

TEHTÄVÄT

1. Mitoosin vaiheet

Tarkastele oheista valomikroskooppikuvaa, jossa on jakautuvia soluja sipulin juuren kärjestä.

- Etsi kuvasta joitakin mitoosin eri vaiheissa olevia soluja.
- Kirjoita kustakin vaiheesta pääasiat.
 - välivaihe
 - esivaihe
 - keskivaihe
 - jälkivaihe
 - loppuvaihe



2. Jakautuva solu

Solussa on kuusi kromosomia.

- Piirrä kuvat tällaisen solun mitoosin keski- ja jälkivaiheesta.
- Merkitse kuvaan seuraavat käsitteet: kromosomi, sisarkromatidi, tytärkromosomi, sentromeeri.

3. Sipulin juuren jakautuvia soluja

Tutkijat laskivat sipulin juuren kärjestä tehdystä leikkeestä eri jakautumisen vaiheissa olevien solujen määrät:

esivaihe	210
keskivaihe	30
jälkivaihe	12
loppuvaihe	48

- Mitä tämä tulos kertoo juuren kärjestä?
- Miten tulos olisi poikennut, jos tutkittavana olisi ollut jokin muu osa juuresta?

4. Nukleiinihaponäytteen



Eräässä nukleiinihaponäytteessä on tymiiniä 15 % näytteen emäsmolekyylien lukumäärästä.

- Mistä nukleiinihaposta on kyse, ja mitkä ovat sen muiden emästen vastaavat osuudet?
- Mistä osista tämän nukleiinihapon nukleotidit koostuvat?
- Selosta, miten uudet solut saavat tämän nukleiinihapon.

Yhteenveto

Solun elämäntierrossa on välivaihe, tumanjakautuminen ja soluliman jakautuminen.

Välivaiheen aikana aineenvaihdunta on vilkasta ja DNA kahdentuu.

Tumanjakautumisessa eli mitoosissa erotetaan esivaihe, keskivaihe, jälkivaihe ja loppuvaihe.

Tumanjakautumisen jälkeen solulima ja soluelimet jakautuvat muodostuneiden tumien ympärille, ja solukalvo muodostuu niiden välille.

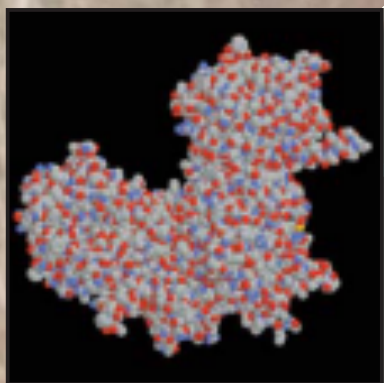
Solun jakautumisen lopputuloksena syntyy kaksi kromosomimäärältään täysin samanlaista, alkuperäisen emosolun kaltaista tytärsolua.

Avainsanat

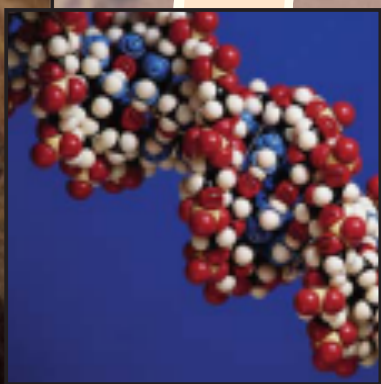
DNA:n kahdentuminen
emosolu
esivaihe
jälkivaihe
keskivaihe
kromatiinirihma
loppuvaihe
mitoosi
sentromeeri
sisarkromatidi
sukkularihma
tytärkromosomi
välivaihe

II

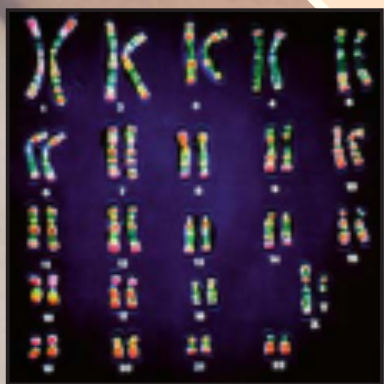
Perinnöllisyys



Geenit ohjaavat proteiinisynteesiä. Proteiinit ovat solun toiminnan kannalta keskeisiä molekyylejä.



Kromosomeissa on DNA:ta ja DNA:ssa on geenejä.



Soluissa on kromosomeja.

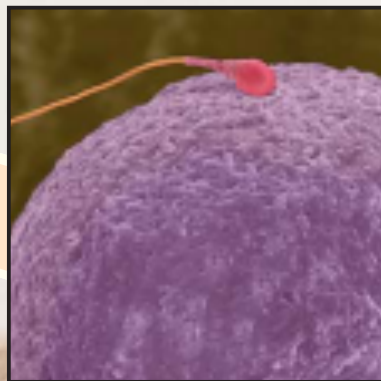
Jakson sisältämät luvut

- 8. Geenit siirtyvät sukusoluissa vanhemmilta jälkeläisille
- 9. Geeni vaikuttaa ominaisuuksiin eri tavoin
- 10. Sukupuoli vaikuttaa joidenkin ominaisuuksien periytymiseen
- 11. Yksilö kehittyy geenien yhteistyön ja ympäristön vaikutuksen tuloksena



Solu on elämän perusyksikkö, kaikilla soluilla on samoja toimintoja.

Suvullisessa lisääntymisessä geenit siirtyvät vanhemmilta jälkeläisille sukusoluissa. Syntyy uusi, ainutkertainen yksilö.



Hedelmöittynyt munasolu jakautuu ja kehittyy yksilöksi.



- Miksi me muistutamme vanhempiamme?
- Näkyykö tyttären tyttäressä isoäidin piirteitä?
- Miksi kaikki äidiltä perityt geenit eivät ilmene tyttäressä?
- Isän veriryhmä on A, äidin on B, isoäiti on AB ja tytär O. Miten tämä on mahdollista?

A close-up photograph of a baby with light brown hair and blue eyes, sitting on a white surface and smiling at the camera. The baby is wearing a white diaper.

8.

Geenit siirtyvät sukusoluissa vanhemmilta jälkeläisille

Kun siittiö hedelmöittää munasolun, uusi elämä alkaa. Lapsi perii kaikki geeninsä vanhemmiltaan olematta kuitenkaan heidän keskiarvonsa. Suvullisessa lisääntymisessä perinnöllinen informaatio järjestyy uudella tavalla ja siten syntyy ainutkertaisia yksilöitä. Monisoluisille eliölajeille on kehittynyt evoluution kuluessa sukusolut, joiden ansiosta yksilöt muuntelevat, mutta geenit säilyvät.

Sukusolut syntyvät meioosin tuloksena

Sukusolut syntyvät eläimillä sukupuolirauhasissa, esimerkiksi nisäkkäillä koiraiden kiveksissä ja naaraiden munarauhasissa. Näissä rauhasissa on erikoistunut solulinja, jossa syntyy koiraspuolisia siittiöitä tai naaraspuolisia munasoluja. Siemenkasveilla vastaavia

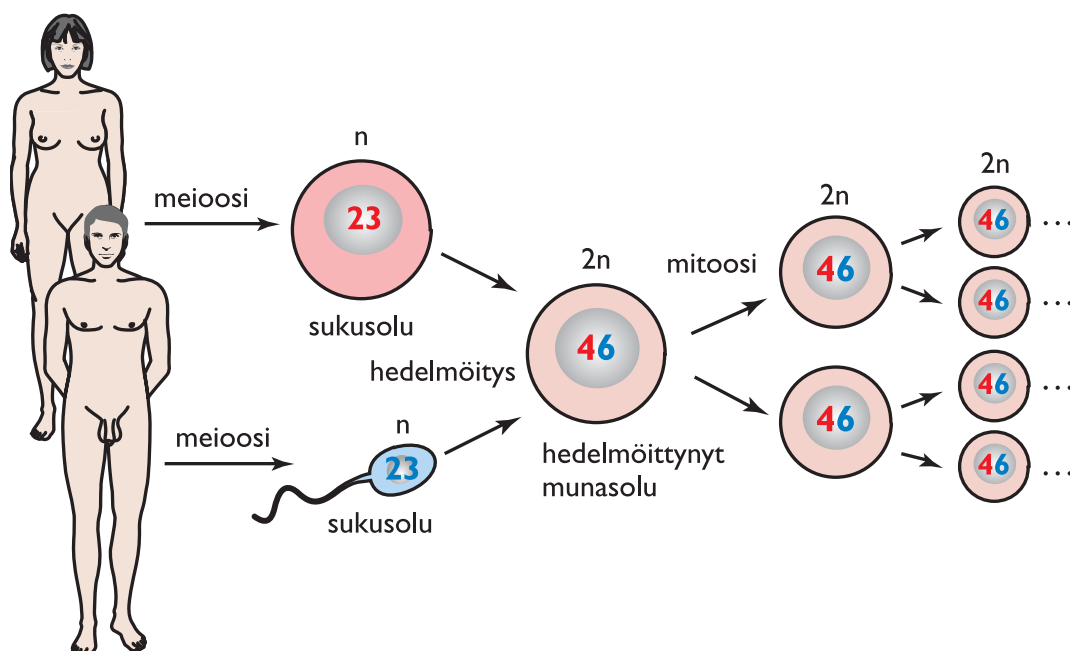
sukusoluja syntyy siitepölyä tuottavissa heteissä ja munasoluja tuottavissa emeissä. Sekä eläimillä että kasveilla sukusoluihin johtavaa solulinjaa kutsutaan ituradaksi ja sukusolujen syntyyn johtavaa tumanjakautumista meioosiksi.

Meioosissa kromosomiluku puolittuu

Kullakin eliölajilla on soluissaan sille tyypillinen määrä kromosomeja. Esimerkiksi ihmisellä niitä on 46, banaanikärpäsellä 8 ja männyllä 24. Jokainen yksittäinen kromosomi esiintyy normaalisti kahtena kappaleena, joista kumpikin on peritty eri vanhemmalta, joten ihminen perii 23 kromosomia isältä ja 23 äidiltä. Kromosomeja on mahdollista tarkastella valomikroskoopilla, ja niitä voidaan ryhmitellä koon, muodon ja värjäytyvyyden perusteella.

Tumallisessa solussa on aina kaksi keskenään samannäköistä kromosomia (poikkeuksena sukupuolikromosomit), joita kutsutaan toistensa vastinkromosomeiksi. Koska kutakin kromosomia on kaksi kappaletta, puhutaan kaksinkertaisesta eli diploidisesta kromosomistosta ($2n$). Ihmisen soluissa kromosomit ovat kahtena kappaleena. Ainoastaan sulusoluissa kromosomeja on 23. Tätä peruskromosomistoa, jossa kutakin vastinkromosomia on vain yksi kappale, kutsutaan haploidiseksi (n).

Sukusolun kromosomien lukumäärä on vain puolet muiden solujen vastaavasta, koska muuten hedelmöityksessä kromosomiluku kaksinkertaistuisi joka sukupolvessa. Meioosin tarkoituksena on puolittaa diploidinen kromosomisto ($2n$) ja tuottaa haploidisia sulusoluja (n). Munasoluun ja siittiöön jää vain toinen emoyksilön kustakin vastinkromosomista. Hedelmöityksessä vastinkromosomit löytävät jälleen parinsa ja kromosomiluku muuttuu takaisin kaksinkertaiseksi.



vastinkromosomipari



Ihmisen verestä on mahdollista eristää valkosoluja, saada ne jakautumaan soluviljelmässä ja pysäyttää jakautuminen mitoosin keskivaiheeseen. Solut voidaan tämän jälkeen värjätä ja tehdä niistä mikroskooppipreparaatti. Kaikki 23 vastinkromosomiparia on mahdollista tunnistaa koon, muodon ja erilaisten väriraitojen perusteella. Kromosomeista 1–22 käytetään nimitystä autosomit, ja 23. pari muodostuu sukupuolikromosomeista. Naisen sukupuolikromosomeina on kaksi X-kromosomia, mutta miehellä toisen X-kromosomin tilalla on Y-kromosomi.

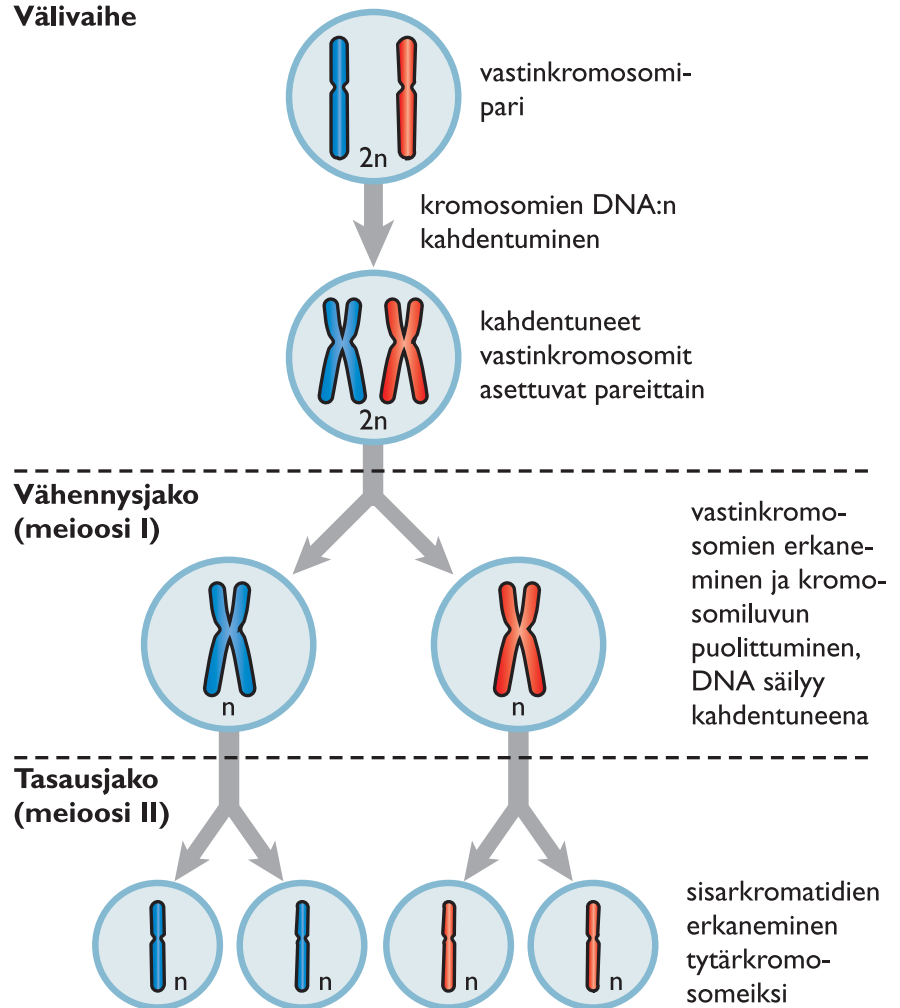
Hedelmöityksessä kahden haploidisen sulusolun (n) tumat yhtyvät, kromosomiluku muuttuu diploidiseksi ($2n$) ja uusi, ainutkertainen yksilö saa alkunsa. Hedelmöittynyt munasolu alkaa jakautua mitoottisesti, ja uuden yksilön kaikissa soluissa sulusoluja lukuun ottamatta tämä diploidinen kromosomiluku säilyy samana (poikkeuksena ovat tumattomat solut kuten punasolut). Jokainen solu sisältää kutakin kromosomia kaksi kappaletta: toinen on peräisin siittiöstä ja toinen munasolusta.

Meioosin vähennys- ja tasausjako tuottavat neljä haploidista sukusolua

Mitoosin yhteydessä todettiin, että solujen elämäntietoon kuuluu välivaihe ja jakautumisvaihe, ja jakautuvan solun DNA:n tulee kahdentua ennen varsinaista tuman jakautumista. Myös ituradan eli sukusoluja tuottavan solulinjan solujen jakautumista edeltää DNA:n kahdentuminen. Tämän jälkeen alkaa kuitenkin huomattavasti mutkikkaampi kaksisainen tapahtumasarja, jonka ensimmäistä osaa kutsutaan vähennysjaoksi (meioosi I) ja toista osaa tasausjaoksi (meioosi II).

Meioosin vähennysjaossa kromosomiluku puolittuu ja syntyy kaksi haploidista solua. Näissä soluissa kromosomit ovat kuitenkin vielä kahdentuneina. Tasausjaossa tuma jakaantuu uudelleen, jolloin kahdentuneiden kromosomien sisarkromatidit erkaantuvat toisistaan. Lopputuloksena jokaisesta sukusolun emosolusta syntyy neljä sukusolua. Jokaisessa sukusolussa on vain toinen kromosomi kustakin kromosomiparista. Ihmisellä meioosi tuottaa kuitenkin vain yhden munasolun, sillä kolme muuta meioosissa syntynyttä tytärsolua surkastuu. Siittiöitä sen sijaan syntyy aina neljä kappaletta.

Välivaihe



Kromosomiluvun puolittuminen meioosissa. Meioosi on kaksivaiheinen tapahtumasarja. Ensimmäisessä vaiheessa eli vähennysjaossa kromosomiluku puolittuu ja syntyy kaksi haploidista solua. Näissä soluissa kromosomit ovat kuitenkin vielä kahdentuneina. Tasausjaossa tuma jakaantuu uudelleen, jolloin kahdentuneet kromosomit jakaantuvat. Lopputuloksena jokaisesta sukusolun emosolusta syntyy neljä sukusolua, joissa jokaisessa on vain toinen kromosomi kustakin vastinkromosomiparista.



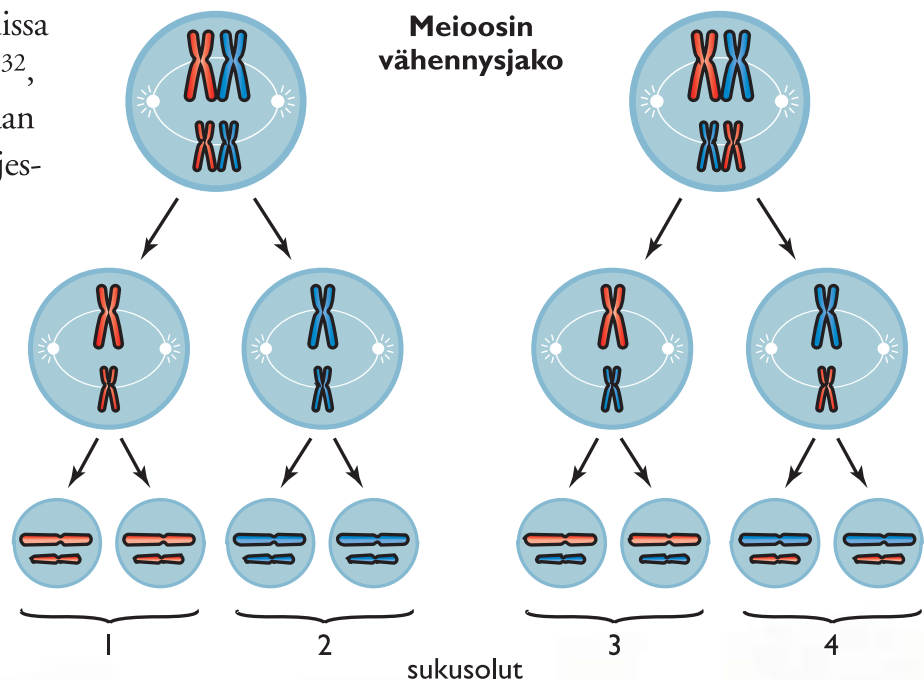
Elektronimikroskooppikuva munasolusta, jonka pinnalla on siittiöitä.

Meioosissa perintöaines järjestyy uudelleen, ja näin syntyy erilaisia sukusoluja

Meioosin tuloksena syntyy neljä sukusolua, joissa jokaisessa on vain toinen kromosomi kustakin emosolun vastinkromosomiparista. Se, kumpi vastinkromosomeista joutuu kuhunkin sukusoluun, riippuu täysin sattumasta. Mitä enemmän eliölajilla on kromosomeja, sitä useammalla tavalla ne voivat järjestyä sukusoluihin; esimerkiksi ihmisellä tämä määrä on 2^{23} . Hevosella, jonka sukusoluissa on 32 kromosomiparia, vastaava luku on 2^{32} , hiirellä 2^{20} ja männyllä 2^{12} . Tätä sanotaan vastinkromosomien sattumanvaraiseksi järjestykseksi.

Eliöt tuottavat suuren määrän sukusoluja, ja niitä voi syntyä jopa satoja

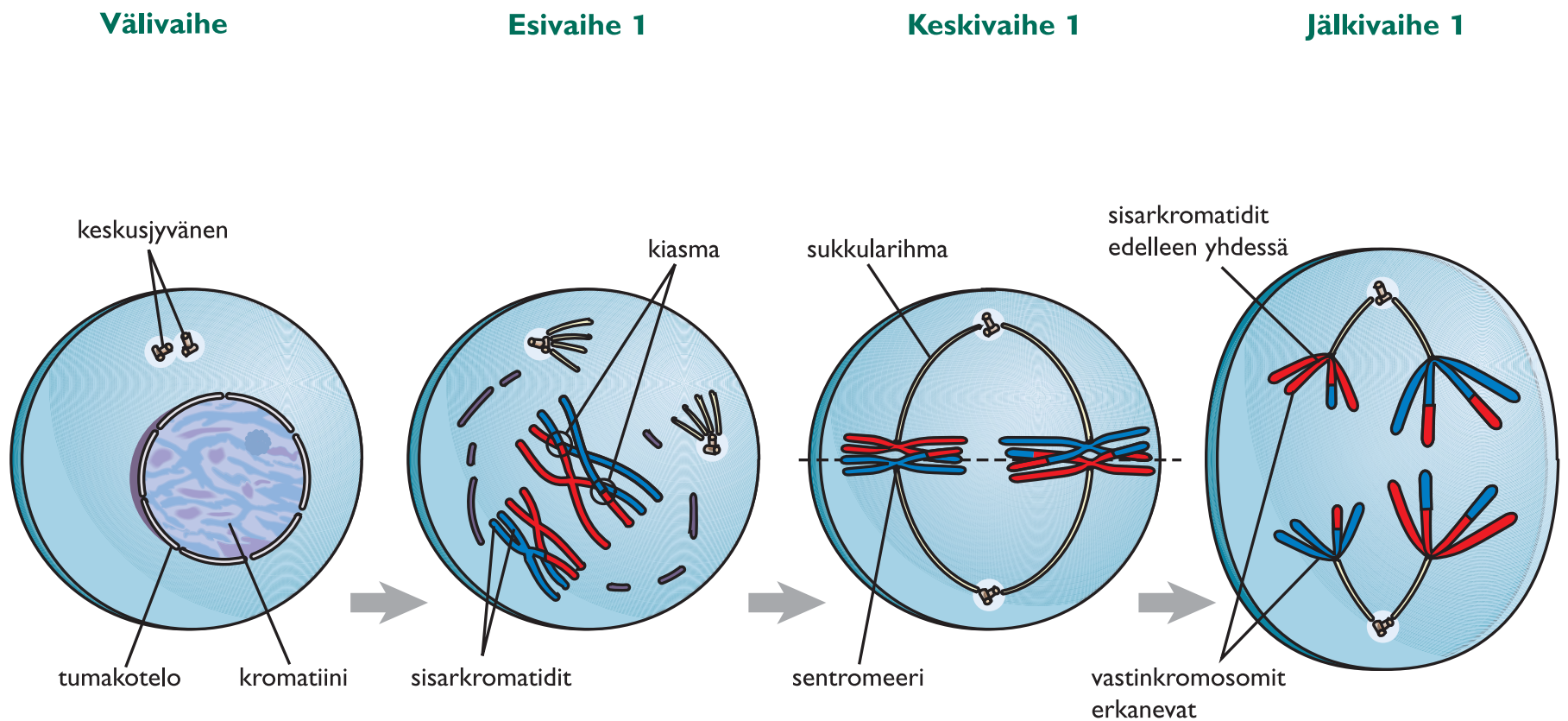
Meioosin vähennysjaossa vastinkromosomit asettuvat pareittain solun jakautumistasoon sattumanvaraisesti, joten kahdesta kromosomiparista voi syntyä neljänlaisia sukusoluja.



Geenit voivat järjestyä monella tavalla meioosin aikana, minkä seurauksena syntyy monenlaisia sukusoluja. Näin hedelmöityksessä syntyy ainutkertaisia yksilöitä.



Meioosin vähennysjako (meioosi 1)



Välivaihe (interfaasi 1)
Tämä vaihe edeltää varsinaista meioosia. Sukusolun emosolussa tapahtuu DNA:n kahdentuminen, jonka seurauksena jokainen kromosomi koostuu kahdesta identtisestä sisarkromatidista, aivan kuten mitoosissakin.

Esivaihe (profaasi 1)
Kahdentuneet kromosomit pakkautuvat yhä tiiviimmin ja

alkavat näkyä valomikroskooppilla tarkasteltaessa. Tässä vaiheessa vastinkromosomit asettuvat rinnakkain, eli niiden sanotaan konjugoituvan. Konjugoituneet vastinkromosomit ovat kiinni toisissaan useasta kohtaa ja toisinaan näissä kohdissa, kiasmoissa, vastinkromosomien osat vaihtavat paikkoja keskenään. Tapahtumaa kutsutaan tekijäinvaihdunnaksi.

Esivaiheessa keskusjyvästä eli sentrioleista ja sukkularihmoista muodostuu tumasukkula.

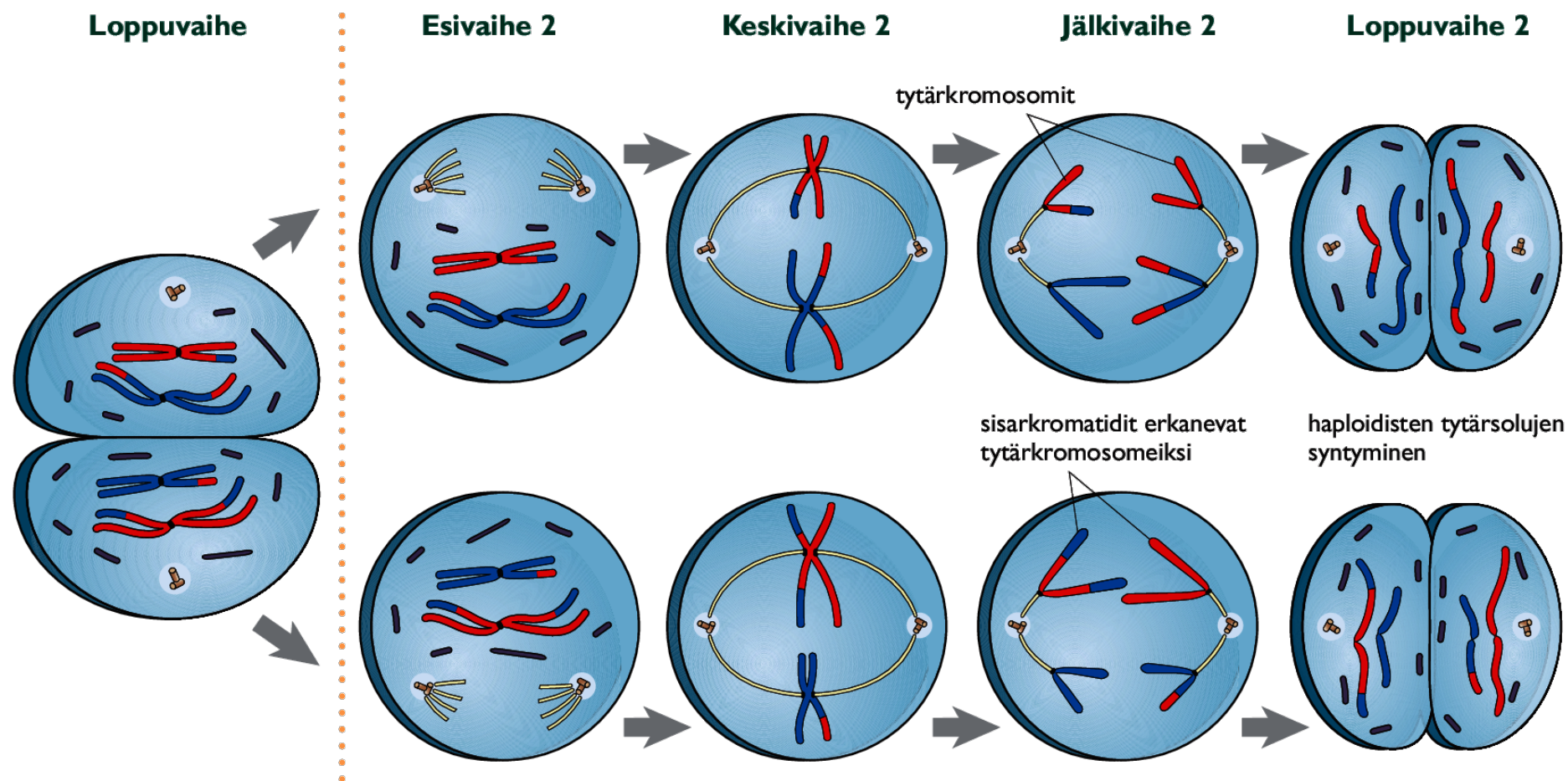
Keskivaihe (metafaasi 1)
Esivaiheen jälkeen tumakotelo on hajonnut. Jokaisen kromosomin sentromeerikohtaan voi nyt tarttua yksi sukkularihma, joka ohjaa kunkin kromosomin vastin-

kromosominsa viereen solun keskitasoon "parijonoon".

Jälkivaihe (anafaasi 1)
Sukkularihmat lyhenevät ja vetävät vastinkromosomit solun vastakkaisille puolille. Jokainen kromosomi siis muodostuu edelleen kahdesta sisarkromatidista eli DNA on yhä niissä kahdentuneena.

Vaikka meioosissa on kyse vähittäin etenevästä tapahtumaketjusta, se voidaan jakaa vaiheisiin ja esittää kaavamaisena tapahtumasarjana.

Meioosin tasausjako (meioosi 2)



Loppuvaihe (telofaasi 1) ja solun jakautuminen
Koska sukkularihmat kuljettivat vastinkromosomit toisistaan erilleen, jää kumpaankin ryhmään vain puolet alkuperäisestä kromosomimäärästä. Näin 1. loppuvaiheen seurauksena syntyy solun jakautuessa kaksi haploidista (n) tytärsolua, joiden kromosomiluku on puolet alkuperäisen emosolun vastaavasta diploidisesta (2n) kromosomiluvusta. Vähennys-

nysjaon ja tasausjaon välissä on eläinsolulla vain lyhyt välivaihe, ja jokaisen kromosomin DNA säilyy edelleen kahdentuneena. Kasvisolulla ei välivaihetta ole lainkaan.

Esivaihe (profaasi 2)
Esivaihe, kuten kaikki muutkin tasausjaon vaiheet, muistuttaa tavallista mitoosia. Välivaiheen jälkeen kromosomit pakkautuvat ja tumasukkula muodostuu.

Keskivaihe (metafaasi 2)
Kromosomit asettuvat yksitellen "jonoon" jakautumistasoon. Sukkularihmat tarttuvat kahdentuneiden kromosomien sentromeerikohtiin.

Jälkivaihe (anafaasi 2)
Sukularihmat vetävät kahdentuneiden kromosomien puoliskot eli sisarkromatidit irti toisistaan ja kuljettavat syntyneet tytärkromosomit solun eri puolille.

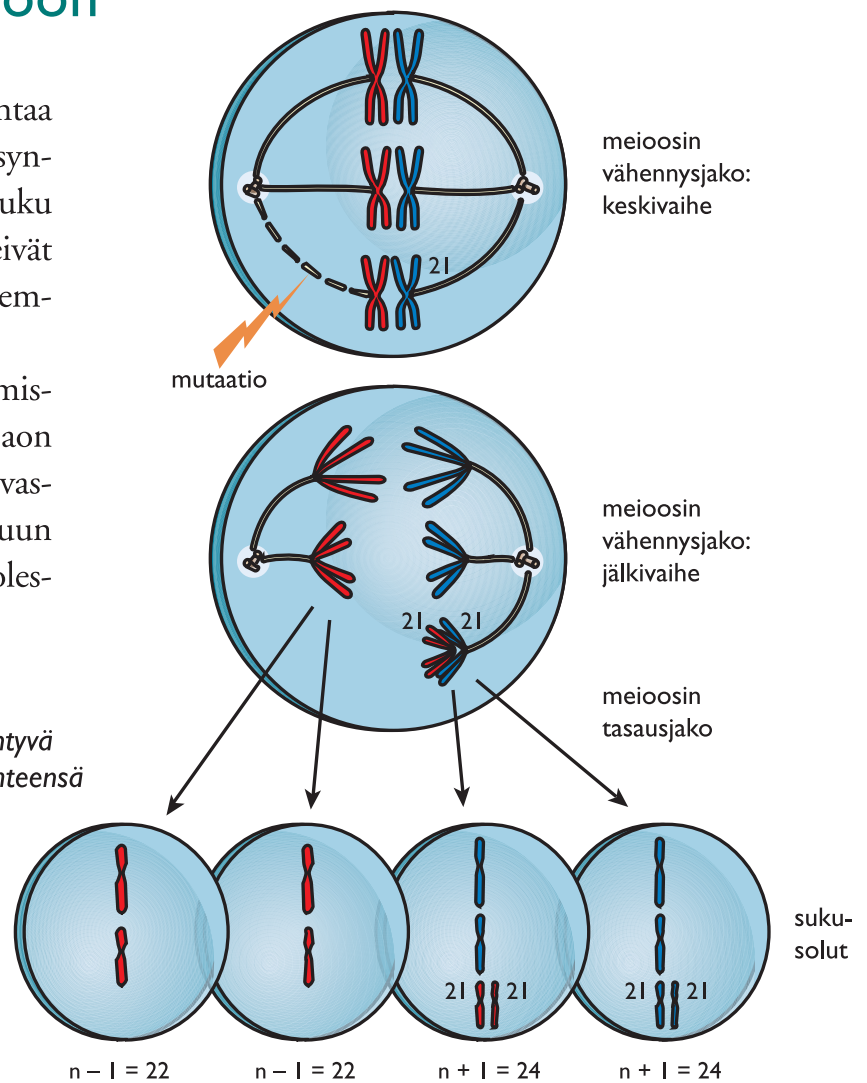
Loppuvaihe (telofaasi 2) ja solujen jakautuminen
Tumakotelo alkaa muodostua molempien tytärkromosomiryhmien ympärille, ja tätä seuraa solun jakautuminen. Kahdesta haploidisesta solusta syntyy yhteensä neljä sukusolua, joiden kromosomimäärä on puolet alkuperäisen emosolun kromosomimäärästä (n).

Meioosissa voi tapahtua häiriöitä, jotka johtavat kromosomistomutaatioon

Toisinaan meioosissa tapahtuu häiriöitä, jotka voivat johtaa kromosomiluvultaan poikkeuksellisten sukusolujen syntyyn. Nisäkkäillä alkion poikkeuksellinen kromosomiluku johtaa yleensä keskenmenoon. Kasveilla muutokset eivät aina ole vahingollisia, vaan ne voivat johtaa jopa aikaisempaa elinkelpoisempien yksilöiden syntymiseen.

Kromosomien lukumäärän muutokset eli kromosomistomutaatiot johtuvat siitä, että meioosin vähennysjaon jälkivaiheessa sukkularihmat eivät kykene irrottamaan vastinkromosomiparia erilleen toisistaan, vaan toiseen soluun tulee esimerkiksi yksi kromosomi liikaa ja toiseen puolestaan yksi liian vähän.

Tunnetuin esimerkki kromosomistomutaatiosta on ihmisellä esiintyvä Downin oireyhtymä eli Downin syndrooma. Siinä henkilöllä on yhteensä 47 kromosomia, koska 21. kromosomi on kolmena kappaleena (trisomia). Ylimääräinen kromosomi johtaa kehitysvammaisuuteen, joka ilmenee eri tasoisena henkisenä jälkeenjääneisyytenä, pienikasvuisuutena, pyöreäkasvoisuutena ja vinosilmäisyytenä. Riski saada kromosomiluvultaan poikkeava lapsi kasvaa äidin iän myötä. Yli 40-vuotiailla tapahtuu meioosissa moninkertainen määrä häiriöitä verrattuna nuorempiin naisiin. Noin 30 % Downin oireyhtymistä johtuu virheellisistä siittiöistä.



TEHTÄVÄT

1. Miten seuraavat käsitteet liittyvät toisiinsa?

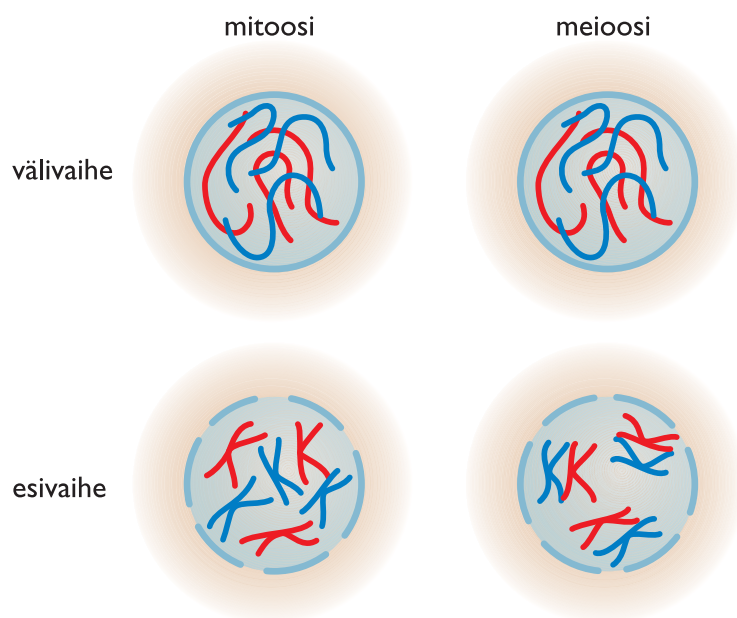
- autosomi ja sukupuolikromosomi
- diploidinen ja haploidinen
- keskusjyvänen, sukkularihma ja kromosomistomutaatio
- tytärkromosomi, sisarkromatidi ja vastinkromosomi
- emosolu ja tytärsolu

2. Kromosomiluvun merkitys

- Mitä tarkoittavat kahdentunut kromosomi ja kaksinkertainen kromosomisto?
- Miten mitoosissa ja meioosissa syntyneet solut poikkeavat toisistaan?
- Missä meioosin vaiheessa kromosomiluku puolittuu?
- Mikä merkitys on kromosomiluvun puolittumisella?

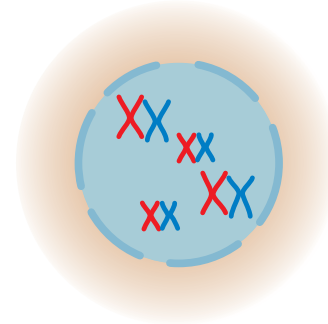
3. Mitoosin ja meioosin vaiheet

Alla on kuvasarja hyttysen mitoosin ja meioosin väli- ja esivaiheesta. Piirrä vihkoosi kaksi seuraavaa vaihetta ja mainitse niiden perusteella eroja kromosomien käyttäytymisessä mitoosin ja meioosin aikana. Mikä on syntyneiden solujen kromosomiluku kummassakin tapauksessa?



4. Emosolut

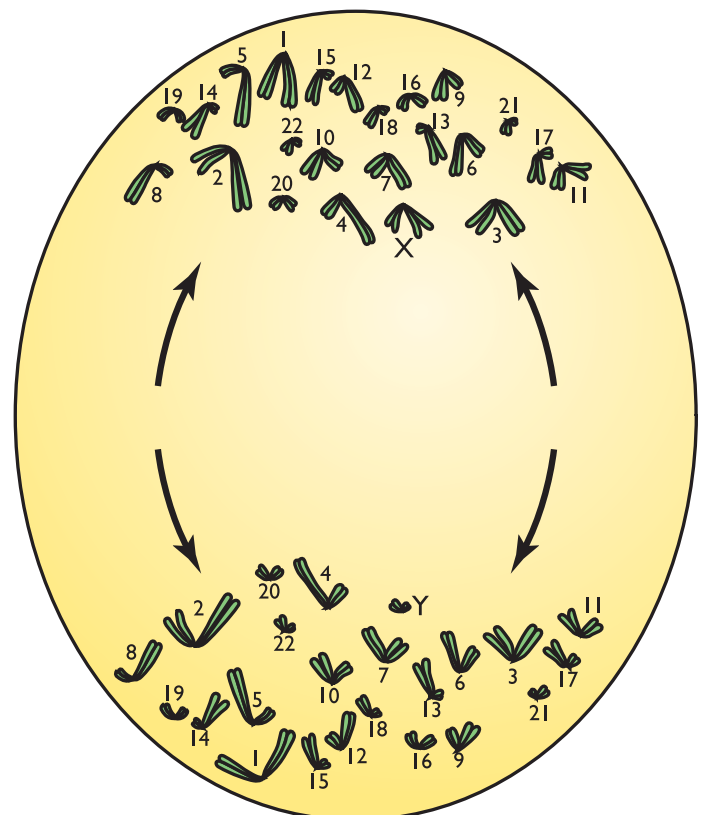
Yhdestä emosolusta voi syntyä monenlaisia sukusoluja. Kuinka monta eri yhdistelmää kuvan emosolusta syntyy?



5. Sukusolujen synty ihmisellä

Kuvassa esitetään ihmisen kromosomien jakautumista meioosin aikana.

- Mikä on ihmisen diploidinen ja haploidinen kromosomiluku?
- Kuinka monta autosomia on ihmisen sukusoluissa?
- Mitä meioosin vaihetta kuva parhaiten vastaa?
- Onko kyseessä munasolujen vai siittiöiden syntyminen? Perustele vastauksesi.



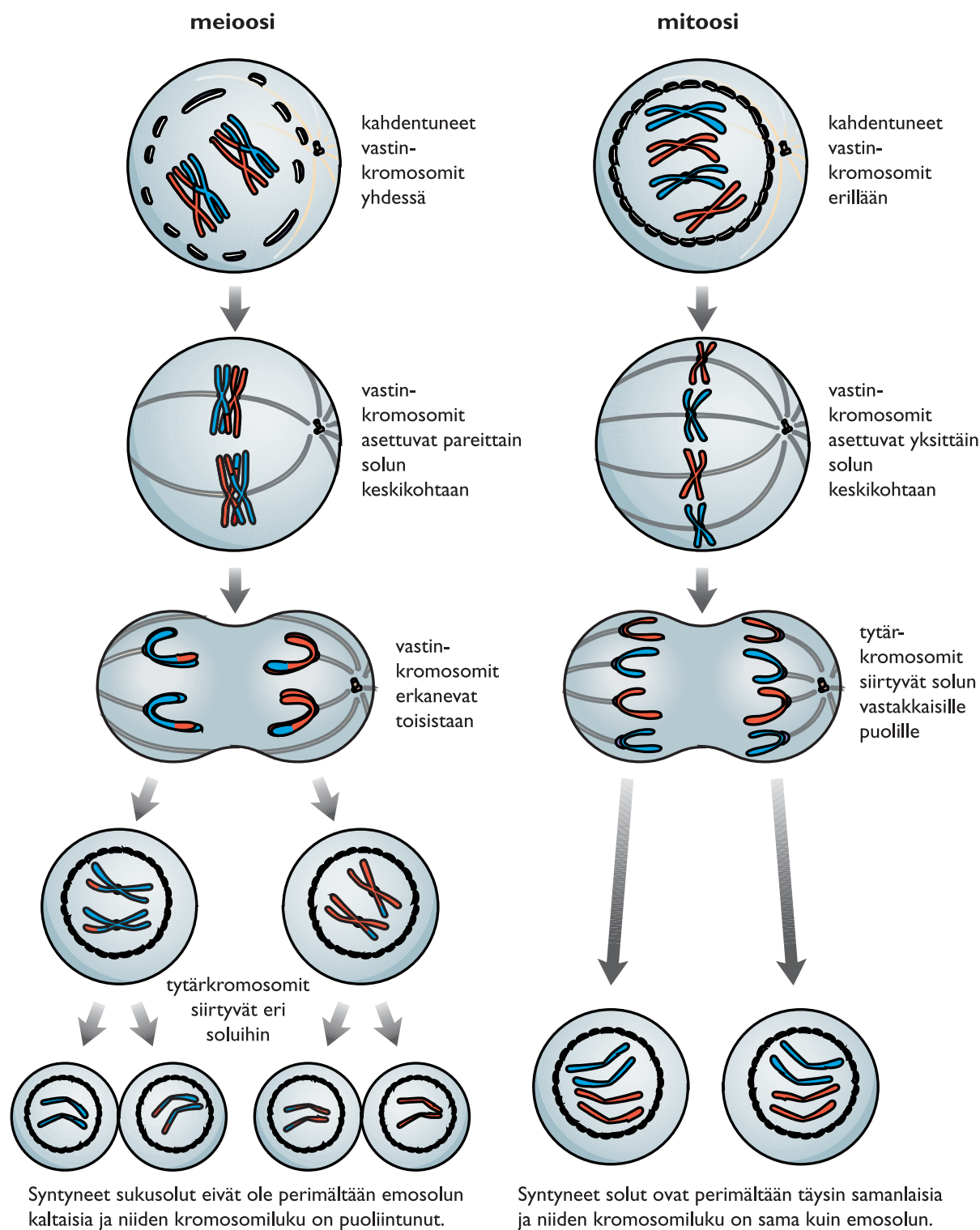
Sukusolut syntyvät meioosissa.

Meioosissa kromosomiluku puolittuu, ja lopputuloksena syntyy neljä kromosomiluvultaan yksinkertaista eli haploidista sukusolua.

Meioosissa perintötekijät järjestyvät uudelleen, ja sen seurauksena syntyy erilaisia sukusoluja.

Jälkeläinen perii kummaltakin vanhemmaltaan sukusolun mukana yhden kutakin vastinkromosomia.

Häiriöt meioosissa voivat johtaa kromosomistomutaatioon.



Avainsanat

autosomi
diploidinen
haploidinen
iturata
kiasma
kromosomiluku
kromosomistomutaatio
meioosi
sukupuolikromosomi
sukupuolirauhanen
sukusolu
tasausjako
vastinkromosomi
vähennysjako



Miten kaksi harmaata hiirtä voi saada valkoisen poikasen, mutta kaksi valkoista hiirtä ei voi saada harmaata poikasta? Miten geenit vaikuttavat siihen, että yleensä osa kahden platinaketun pennuista kuolee jo alkiovaiheessa? Ovatko identtiset kaksoset piirteiltään täysin toistensa kaltaisia?

Jälkeläiset eivät muistuta vanhempiaan sattumalta, vaan ominaisuudet periytyvät sukupolvesta toiseen tiettyjen lainalaisuuksien mukaisesti. Nykyisin tiedämme, että perinnöllinen informaatio siirtyy geenien välityksellä. Geenien erilaiset yhdistelmät vaikuttavat siihen, että ympäriltämme löytyy sekä samanlaisuutta että erilaisuutta. Geenit siirtyvät suvullisessa lisäänty-

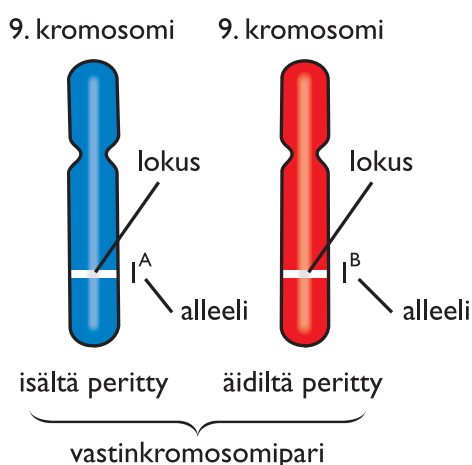
Geeni vaikuttaa ominaisuuksiin eri tavoin

Geenin paikkaa kromosomissa kutsutaan lokukseksi

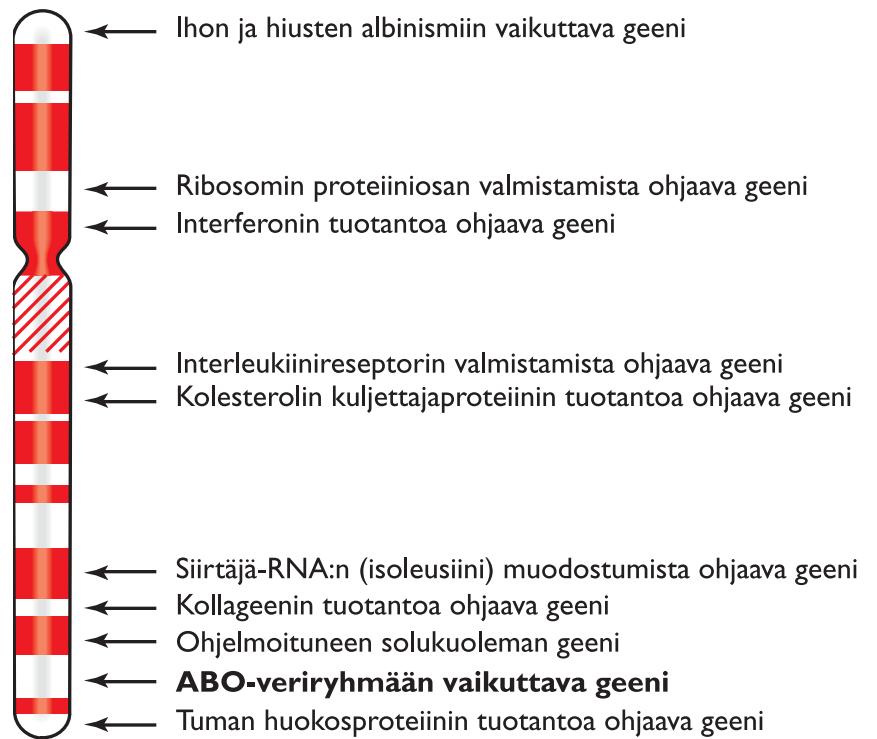
Jokaisessa kromosomissa on useita geenejä, jotka sijaitsevat tarkasti omassa kohdassaan DNA-kaksoisjuosteessa. Tätä geenin paikkaa kromosomissa kutsutaan lokukseksi. Esimerkiksi ihmisen veriryhmän aiheuttava geeni sijaitsee aina kromosomin numero 9 loppupäässä samalla paikalla molemmissa vastinkromosomeissa. Samaan ominaisuuteen vaikuttava vastingeeni peritään siten aina kummaltakin vanhemmalta.

Alleelit ovat samanpaikkaisia vastingeenejä

Vastinkromosomien saman lokuksen vastingeenit määräävät aina yhdessä, miten ominaisuus ilmenee jälkeläisessä. Nämä geenit voivat olla täysin samanlaiset, jolloin molempien vanhempien vaikutus on sama. Evoluution kuluessa useimmista geeneistä on kuitenkin kehittynyt mutaatioiden seurauksena erilaisia muotoja, joita kutsutaan alleeleiksi. Kun sanotaan, että yksi geeni vaikuttaa johonkin yksilön ominaisuuteen, tarkoitetaan itse asiassa yleensä alleeliparin yhteisvaikutusta. Esimerkiksi AB-veriryhmää ilmentävä henkilö on saanut toiselta vanhemmaltaan A-veriryhmää ja toiselta vanhemmaltaan B-veriryhmää aiheuttavan alleelin, jotka yhdessä määräävät hänen veriryhmänsä.



Veriryhmän muodostumiseen vaikuttava geeni sijaitsee tietyllä paikalla 9. kromosomissa eli geenillä on oma lokuksensa. Vastinkromosomeissa samassa lokuksessa olevat geenit eivät välttämättä ole täysin samanlaisia, vaan geenistä on olemassa eri muotoja, joita kutsutaan alleeleiksi. Kummaltakin vanhemmalta peritty alleeli vaikuttaa osaltaan siihen, miten geenin vaikutus ilmenee jälkeläisessä, eli mitä veriryhmää hän ilmentää.



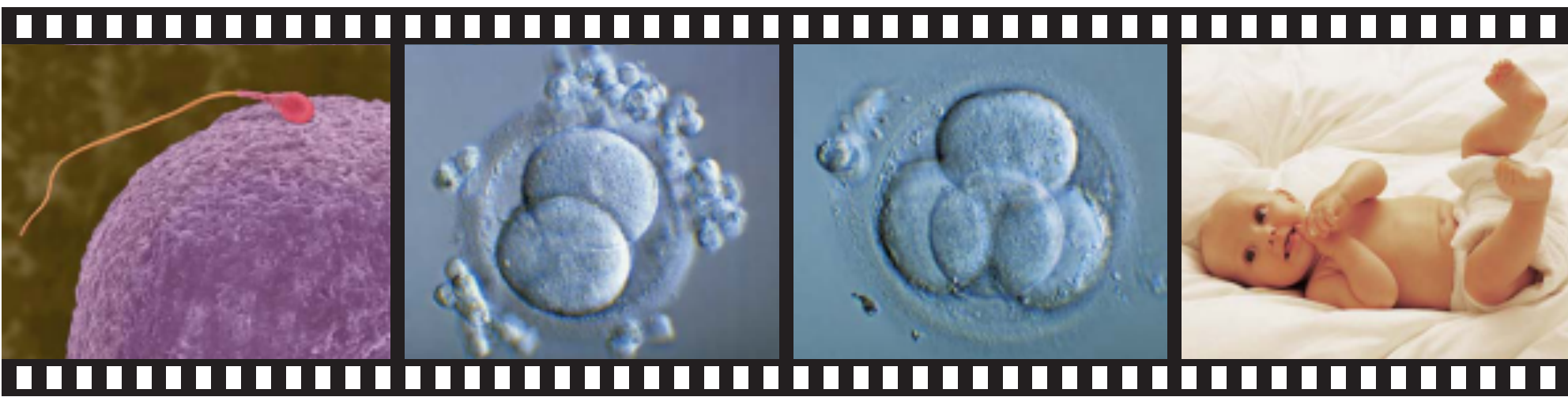
Ihmisen kromosomin numero 9 yksinkertaistettu geenikartta.

Eliöiden ominaisuudet ovat geenien ja ympäristötekijöiden yhteisvaikutuksen tulosta

Kun sukusolujen tumat yhtyvät hedelmöityksessä, uusi yksilö saa kummaltakin vanhemmaltaan suuren joukon geenejä. Nämä geenit yhdessä muodostavat jälkeläisen perimän eli genotyypin. Tämä sama perimä kopioituu jatkossa yksilön kaikkiin soluihin vaikuttaen monin tavoin rakenteeseen, elintoimintoihin ja eläimillä myös käyttäytymiseen koko elämän ajan.

Vastinkromosomien alleelit muodostavat parin, ja kumpikin alleeli vaikuttaa tapaan, jolla jokin ominaisuus ilmenee jälkeläisessä. Perimän ohella kuitenkin myös ympäristötekijät vaikuttavat siihen, millaiseksi yksilö lopullisesti kehittyy. Eliöiden ominaisuudet ovatkin sekä geenien että ympäristötekijöiden yhteisvaikutuksen tulosta. Tätä perimän ja ympäristön määräämää yksilön ilmiänsua kutsutaan sen fenotyyppiksi.

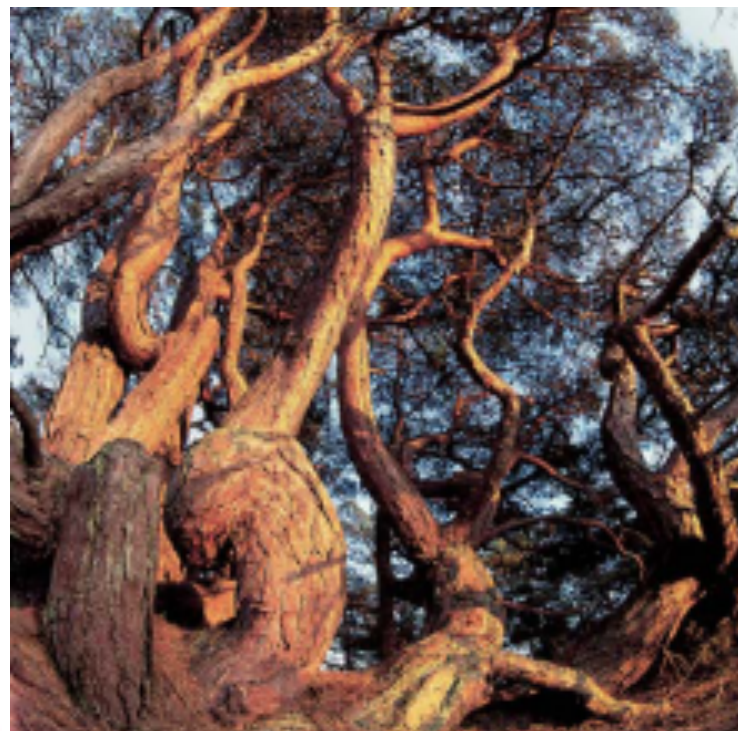
Perimä säilyy lähes muuttumattomana yksilön koko elinajan. Sen sijaan fenotyyppi voi muuttua ympäristötekijöiden muuttuessa. Tällaista fenotyyppin muuttumista ympäristön mukaan kutsutaan muovautumismuunteluksi, ja sitä voi tapahtua geenien asettamissa rajoissa. Esimerkiksi jos perimältään kaksi täysin identtistä mäntyä istutetaan kahdelle erilaiselle



kasvupaikalle, niistä tulee melko erilaisia. Harjuilla, missä maaperä on männyn kasvulle sopiva ja valoa on riittävästi tarjolla, puu kasvaa kookkaaksi ja suorarunkoiseksi. Jos maaperä sen sijaan on ohut ja vähäravinteinen, kuten kallioilla, männystä tulee matala ja käppyräinen. Yhtä kaikki, molemmista tulee genotyyppinsä ohjaamina mäntyjä, joilla on lukuisia lajille tyypillisiä piirteitä. Edes identtiset kaksoset eivät ole fyysisiltä piirteiltään täysin toistensa kaltaisia.



Perittyä vai hankittua?



Ympäristötekijät vaikuttavat geenien lisäksi siihen, minkälainen mänty siemenestä kasvaa.

Dominoiva alleeli peittää resessiivisen alleelin vaikutuksen

Jokaisen yksilön genotyyppiin kuuluu suuri joukko erilaisia alleelipareja. Esimerkiksi ihmisellä arvioidaan olevan noin 20 000 geeniä, eli vastinkromosomeissa on yhteensä noin 40 000 alleelia, jotka vaikuttavat monin tavoin yksilön fenotyyppiin. Kun halutaan ymmärtää periytymisen yleisiä lainalaisuuksia, on kuitenkin helpointa tarkastella aluksi vain yhden alleeliparin vaikutusta kerrallaan.

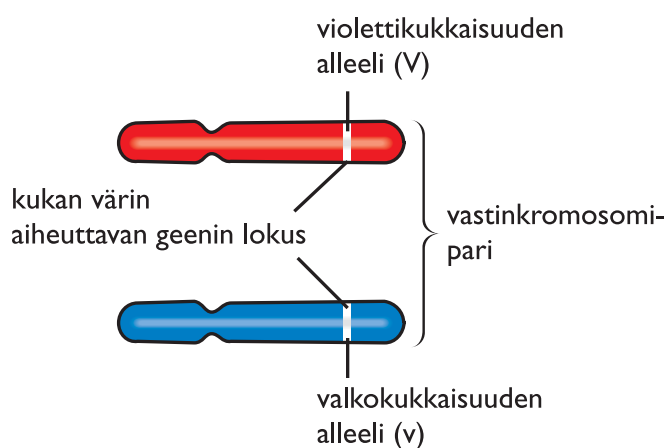
Dominoivan alleelin vaikutus selvisi risteytyskokeilla

Perinnöllisyystiede eli genetiikka on käytännössä alle sataviisikymmentä vuotta vanha tiede. Sen katsotaan syntyneen itävaltalaisen munkin ja tutkijan Gregor Mendelin tekemien kokeiden myötä. Hän ei tuntenut DNA:ta eikä koko geenikäsitettä, mutta systemaattisella ja sinnikkäällä työllä hänen onnistui selvittää periytymisen peruslainalaisuudet.

Mendel selvitti perinnöllisyyden pääperiaatteet risteyttämällä erilaisia herneyksilöitä keskenään. Herne sopii tähän tarkoitukseen hyvin, koska siitä on olemassa monia erilaisia kasvinjoja eli jonkin ominaisuuden suhteen samankaltaisia yksilöitä. Kasvinjojen välillä on myös mahdollista suorittaa helposti kontrolloitu ristipölytys. Siinä siitepölyä siirretään halutun kasvinjojen yksilön kukan heteestä toisen kasvinjojen kukan emiin, jolloin hedelmöityksen seurauksena syntyy niin kutsuttu hybridijäkeläinen.

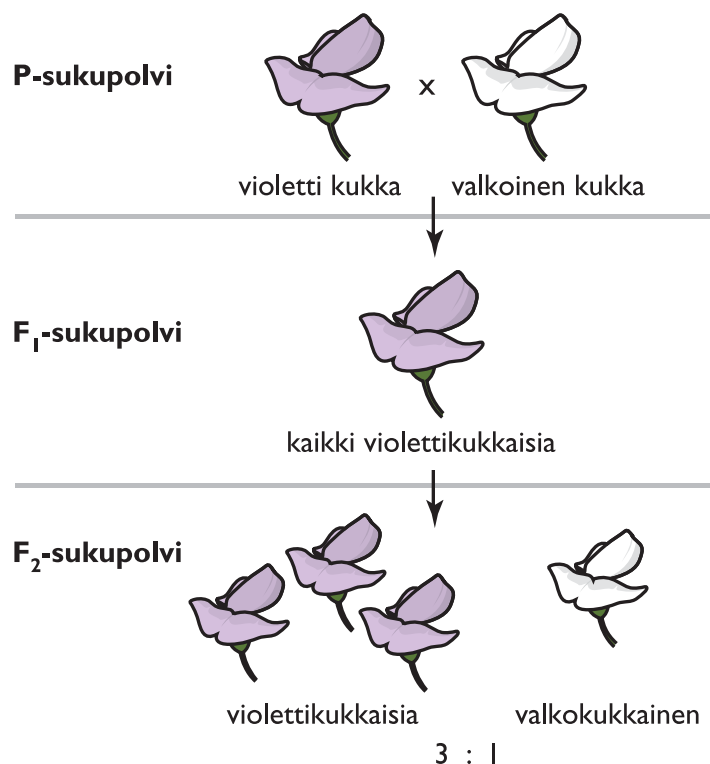
Samoin itsepölytys, jossa kukan siitepöly hedelmöittää oman eminsä, on tällä lajilla mahdollista toteuttaa vaivatta. Herneellä on lisäksi lukuisia helposti havaittavia ominaisuuksia, jotka sopivat hyvin monohybridiristeytyksiin eli sellaisiin risteytyksiin, joissa tutkitaan yhden ominaisuuden periytymistä.

Herneitä on kukanväriltään mm. valkoisia ja violetteja. Valkokukkaisen kasvinjojen yksilöt tuottavat keskenään ainoastaan valkoisia jälkeläisiä. Violettikukkaisten sen sijaan



Herneen kukan värin aiheuttaa yksi alleelipari. Violetin värin aiheuttava alleeli ohjaa entsyymien avulla väripigmentin muodostumista ja saa näin aikaiseksi violettikukkaisia yksilöitä. Valkoisen värin aiheuttava alleeli ei puolestaan ohjaa violetin värin muodostukseen tarvittavan entsyymien syntymä, joten kukista tulee valkoisia.





Mendelin suorittama risteytyskoe violetti- ja valkokukkaisilla herneillä. Koska violetin värin aiheuttava alleeli dominoi valkoiseen nähden, syntyi F₁-polvessa vain violettikukkaisia jälkeläisiä. Risteyttämällä näitä keskenään Mendel sai seuraavassa F₂-polvessa tuotettua valkokukkaisia jälkeläisiä, koska joukossa oli nyt myös yksilöitä, jotka olivat perineet resessiivisen alleelin kahtena kappaleena. Violetti- ja valkokukkaisia syntyi suhteessa 3:1.

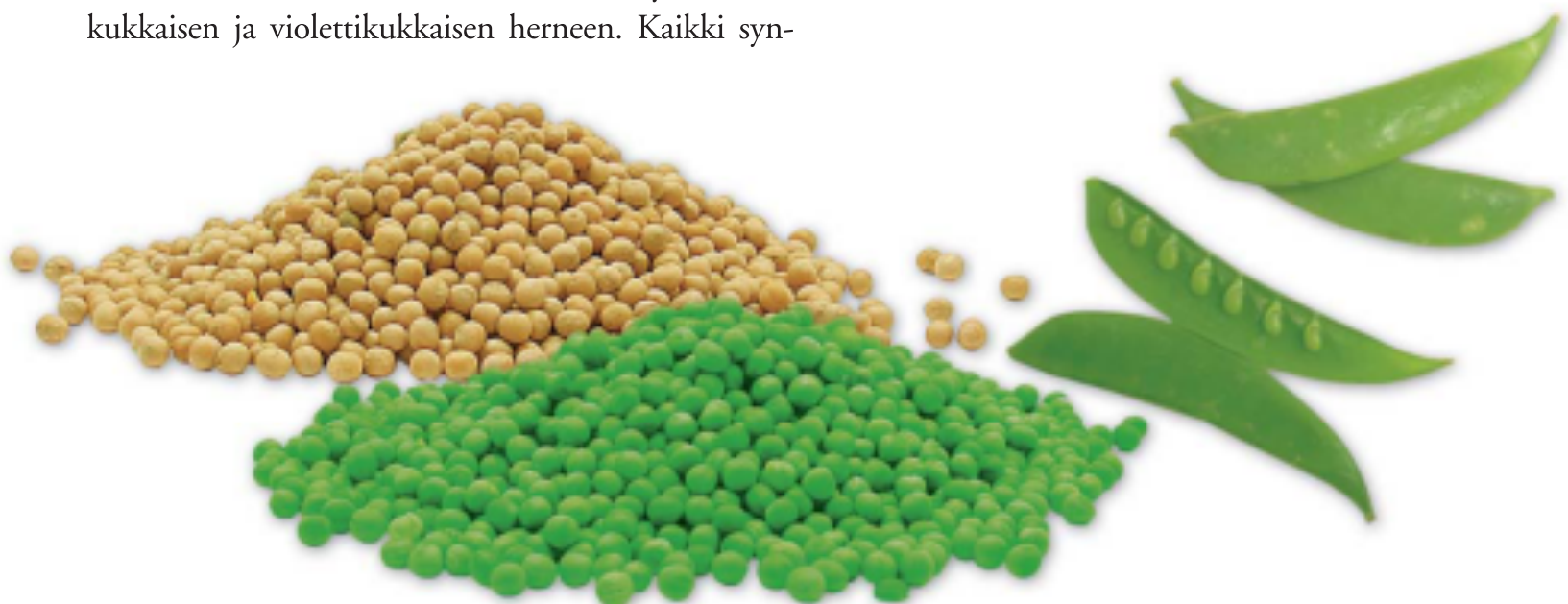
tuottavat kukiltaan yksinomaan violetteja yksilöitä vain siinä tapauksessa, että niitä kasvatetaan täysin valkokukkaisista erillään. Mendel valitsikin risteytyksiinsä näitä niin kutsuttuja puhtaan linjan yksilöitä, joita hän kutsui P-polveksi (lat. parentes, vanhemmat). Puhtaan linjan yksilöt ovat perimältään homotsygoottisia (samaperintäinen) eli niillä kukan värin määrävän geenin molemmat alleelit ovat samanlaisia.

Ensimmäisessä vaiheessa Mendel risteytti valkokukkaisen ja violettikukkaisen herneen. Kaikki syn-

Risteytyskokeiden perusteella on mahdollista päätellä seuraavaa:

1. Ominaisuuden periytymiseen vaikuttavasta geenistä on olemassa useampia muotoja eli alleeleita.
2. Kuhunkin ominaisuuteen vaikuttaa kaksi alleelia, joista yksi on peritty kummaltakin vanhemmalta.
3. Jotkut alleelit ilmentävät ominaisuutta jo silloin, kun niitä on yksi kappale. Tällöin puhutaan dominoivasta ominaisuudesta. Tästä seuraa, että heterotsygoottinen eli eriperintäinen jälkeläinen ilmentää aina dominoivaa alleelia. Dominoivaa ominaisuutta ilmentävä yksilö voi siis olla joko homo- tai heterotsygoottinen.
4. Resessiivinen eli väistynä ominaisuus vaatii ilmentyäkseen aina kaksi samaa resessiivistä alleelia, eli kummaltakin vanhemmalta perittyjen alleelien tulee olla samanlaisia. Resessiivistä ominaisuutta ilmentävät yksilöt ovat siis aina samanperintäisiä eli homotsygoottisia.

tyneet jälkeläiset olivat violettikukkaisia. Tätä sukupolvea kutsutaan F₁-polveksi (lat. filius, poika ja filia, tytär). Kun hän risteytti näitä violettikukkaisia F₁-polven yksilöitä keskenään, syntyi seuraavassa sukupolvessa eli F₂-polvessa 3/4 violettikukkaisia ja 1/4 valkokukkaisia herneitä. Hän toisti koetta tutkimalla muidenkin ominaisuuksien, kuten siemenen värin ja muodon periytymistä, ja tulokset olivat vastaavia.





Albinismissa ihmisellä ei muodostu lainkaan ihon väriainetta, melaniinia. Solut valmistavat melaniinia monivaiheisessa entsyymien ohjaamassa reaktiosarjassa. Melaniinin synteesiin vaikuttaa kromosomissa numero 9 sijaitseva geeni. Jos tämän geenin molemmat alleelit ovat viallisia, melaniinin tuotanto lakkaa. Sen sijaan yksikin toimiva alleeli riittää normaaliin väriaineen tuotantoon. Albiino henkilö on siis perimältään resessiivinen homotsygootti. Ihonväriltään normaali henkilö voi sen sijaan olla kantaja, eli hän voi siirtää ominaisuuden jälkeläisiinsä, vaikka ei itse sitä ilmennä.

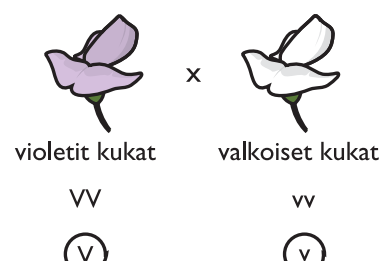
Sukusolussa on vain toinen alleeliparin alleeleista

Kuten meioosin yhteydessä todettiin, sukusolujen kromosomiluku on puolet muiden solujen vastavasta luvusta, ja vähennysjaossa vanhemmilta perityt kromosomit alleeleineen siirtyvät niihin sattumanvaraisesti. Näin sukusolussa on aina kustakin geenistä vain yksi alleeli, joka hedelmöityksessä saa rinnalleen toisen alleelin.

Geenejä merkitään kirjainpareina siten, että saman lokuksen alleeleista käytetään aina samaa kirjainta.

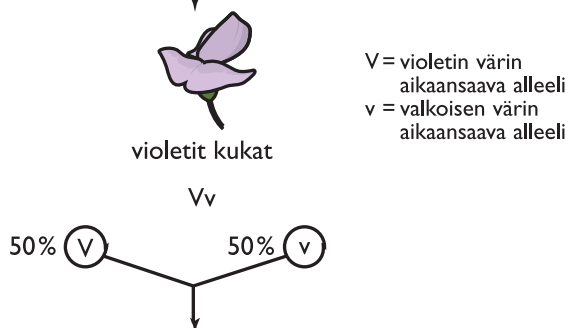
P-sukupolvi

fenotyyppi
genotyyppi
sukusolut

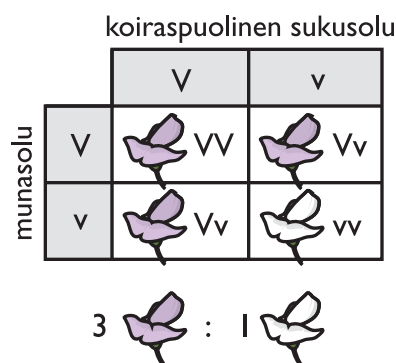


F₁-sukupolvi

fenotyyppi
genotyyppi
sukusolut



F₂-sukupolvi



Mendelin erkanemissääntö

Sukusolujen muodostuessa ominaisuuteen vaikuttavan alleeliparin alleelit erkanevat toisistaan, minkä seurauksena kuhunkin sukusoluun tulee vain toinen näistä alleeleista. Mendelin kokeessa violettikukkaisuus dominoi valkokukkaisuuteen nähden, joten F₁-polven yksilöt olivat kaikki violettikukkaisia, mutta heterotsygoottisia. Erkanemissäännön mukaisesti nämä yksilöt tuottivat kahdenlaisia sukusoluja. Kun kaksi F₁-polven yksilöä risteytetään keskenään, saadaan fenotyypiltään kahdenlaisia jälkeläisiä lukusuhteessa 3:1. Genotyypiltään jälkeläisiä syntyy kolmenlaisia lukusuhteessa 1:2:1.

Dominoivaa alleelia kuvataan isolla ja resessiivistä pienellä kirjaimella. Näin voidaan kuvata P-polven violettikukkaista hennettä kirjainparilla VV ja valkokukkaista vv. Koska F₁-polven yksilöt ovat perineet sekä violettikukkaisuuden että valkokukkaisuuden alleelin, niitä merkitään kirjainparilla Vv. Fenotyypiltään violettikukkainen voi siis genotyypiltään olla joko homotsygoottinen VV tai heterotsygoottinen Vv.

Samasta geenistä voi olla monta eri muotoa

Vaikka yksilöllä on kerrallaan yhdestä geenistä aina kaksi alleelia (kaksi samanlaista tai erilaista), voi populaatiossa olla samasta geenistä useampia kuin kaksi erilaista muotoa. Tällöin puhutaan multippeleista alleeleista.

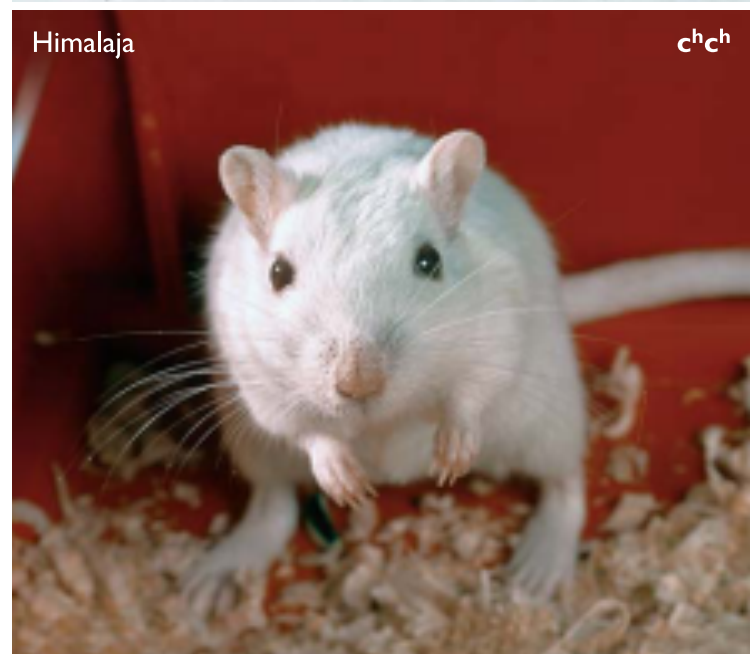
Multippeleita alleeleita tavataan hyvin monista geeneistä. Uudet alleelit syntyvät mutaatioiden seurauksena, ja niiden vaikutus fenotyyppiin vaihtelee. Joskus vaikutus on helppo havaita, kuten vertailemalla gerbiilien turkin väritystä. Tämä pieni jyrsijä elää kuivilla aroalueilla, ja sen kellanruskea turkinväri (agouti) on hyvä suojaväri sen luonnollisessa elinympäristössä. Gerbiili on yleistynyt lemmikkieläimenä, ja siitä on jalostettu lukuisia erilaisia värimuunnoksia.

Yhdestä gerbiilin perusväritystä ohjaavasta geenistä tunnetaan monia erilaisia muotoja. Tämä geeni vaikuttaa eläimellä mustan pigmentin tuotantoon. Geenin dominoiva alleeli C saa aikaan normaalin, kellanruskean turkin värin, ja c^b (koska saman lokuksen alleeleita kuvataan aina samoilla kirjaimilla, käytetään yläindeksejä erottamaan alleelit toisistaan) tuottaa harmaita yksilöitä, joilla on tummat korvat ja häntä. Kolmas alleeli c^h estää pigmentin tuotannon kokonaan, tai sitä tuotetaan vain hännässä. Alleeli on resessiivinen kahteen edellä mainittuun nähden. Näin näistä kolmesta alleelistä voi syntyä karvanväritykseltään kolmenlaisia yksilöitä.

Agouti on gerbiilin luonnollinen väri. Siinä mustaa ja muita pigmenttejä sekä niiden jakautumista ohjaavat geenit toimivat normaalisti. Mahdolliset genotyypit: CC, Cc^b tai Cc^h .

Burman gerbiilillä ruumiin lämpötila vähentää mustan pigmentin tuotantoa. Koska eläimen hännässä, korvissa, tassuissa ja kuonossa on matalampi ruumiinlämpö, tuottavat solut näihin kohtiin enemmän pigmenttiä. Mahdolliset genotyypit: $c^b c^b$ tai $c^b c^h$.

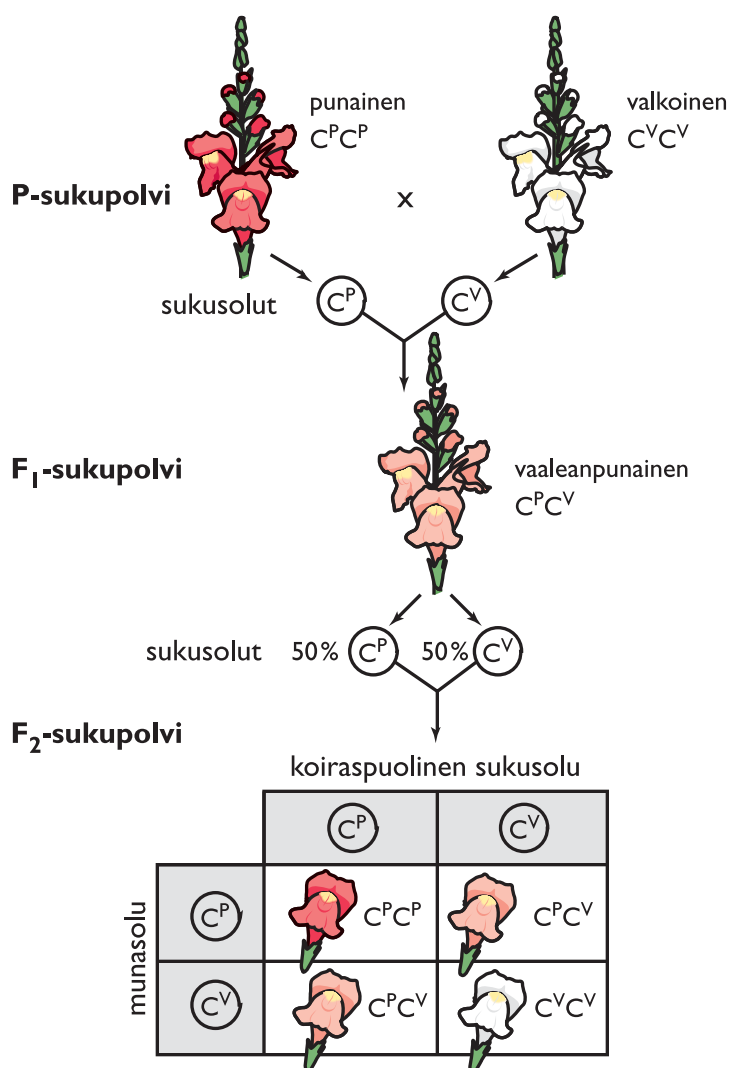
Himalajan gerbiilillä ei synny lainkaan mustaa pigmenttiä tai sitä on vain hännässä. Näiden yksilöiden genotyyppi on aina $c^h c^h$.



Kaikki alleelit eivät ole dominoivia tai resessiivisiä

Mendelin jälkeen monet perinnöllisyystutkijat jatkoivat risteytyskokeita. He huomasivat, että toinen alleeli ei aina peitä toisen vaikutusta. Toisinaan jälkeläiset näyttivät tutkittavan ominaisuuden suhteen vanhempiensa keskiarvolta, ja toisinaan kumpikin alleeli näytti vaikuttavan itsenäisesti. Myöskään kaikissa tapauksissa fenotyyptään erilaisten jälkeläisten määrät eivät noudattaneet Mendelin risteytyskokeissaan saamia lukusuhteita.

C^P = punaisen värin alleeli
 C^V = valkoisen värin alleeli



Kun puna- ja valkokukkainen leijonankita risteytetään keskenään, saadaan väreiltään vanhempien välimuotoja. Näillä yksilöillä on vain yksi alleeli, joka vaikuttaa punaisen värin tuotantoon terälehdisissä. Punaista väriä ei synny runsaasti, joten heterotsygoottisten yksilöiden kukat jäävät vaaleanpunaisiksi. Koska kumpikaan alleeli ei dominoi toista, käytetään merkinnässä molemmista isoa kirjainta ja yläindeksiä. Risteyttämällä F₁-polven jälkeläisiä saadaan taas genotyyptään ja fenotyyptään kolmenlaisia jälkeläisiä lukusuhteessa 1:2:1.

Välimuotoisessa periytymisessä kummankin alleelin vaikutus ilmenee jälkeläisessä

Herneillä violetin kukanvärin aiheuttava alleeli peittää valkoisen värin aiheuttavan alleelin vaikutuksen, minkä johdosta F₁-polvessa kaikki kukat ovat violetteja. Kaikkien kukkien värit eivät kuitenkaan periydy näin yksioikoisesti. Kun risteytetään esimerkiksi puna- ja valkokukkainen leijonankita, F₁-polven yksilöt ovat kaikki vaaleanpunakukkaisia. Jälkeläisissä siis näkyy kummankin vanhemman vaikutus samanaikaisesti. Ilmiö on nimeltään välimuotoinen eli intermediaarinen periytyminen. F₂-polven yksilöissä on puolestaan fenotyyptään kolmenlaisia yksilöitä lukusuhteessa 1:2:1.

Välimuotoista periytymistä esiintyy myös eläimillä. Esimerkiksi hevosen karvan väri määräytyy tietyissä tapauksissa kahden alleelin yhteisvaikutuksesta. Jos risteytetään punaruskea rautias hyvin vaaleankeltaisen yksivärisen hevosen kanssa, syntyy vaaleanruskea, liinaharjainen varsa, jota kutsutaan voikoksi. Se on perinyt kummaltakin vanhemmaltaan eri alleelin, joiden molempien vaikutuksesta se poikkeaa väritykseltään vanhemmistaan.



Kerma (cremello $V^K V^K$)



Punaruskea rautias ($V^P V^P$)



Voikko (palomiino $V^K V^P$)

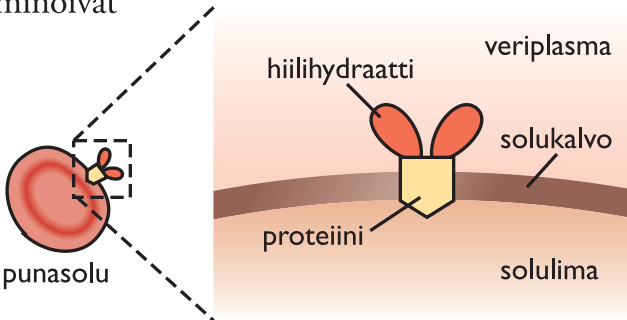
Hevosien karvan väri muodostuu mustasta ja punaisesta väriaineesta. Näiden väriaineiden määrää ohjaa yksi alleelipari, jonka alleelityypit ovat V^K ja V^P . Jos hevosella on alleeli V^K vain yksinkertaisena, se on voikon väriäinen ($V^K V^K$), koska punainen väriaine on vaalentunut kellertäväksi. Sama alleeli kaksinkertaisena vähentää puolestaan molempien väriaineiden tuotantoa ja hevonen on silloin kerman väriäinen ($V^K V^K$). Hevoselta, joka on väriltään punaruskea rautias ($V^P V^P$) puuttuu tämä väriaineen tuotantoa vähentävä alleeli kokonaan.

Yhteisvallitsevassa periytymisessä kumpikin alleeli vaikuttaa itsenäisesti

Eräistä geeneistä tavataan alleeleita, jotka kumpikin vaikuttavat yksilön fenotyyppiin täysin itsenäisesti, eli ne tuottavat oman, erillisen piirteensä yksilöön. Esimerkkinä tällaisesta yhteisvallitsevasta periytymisestä on ihmisen AB-veriryhmä.

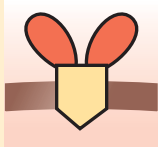
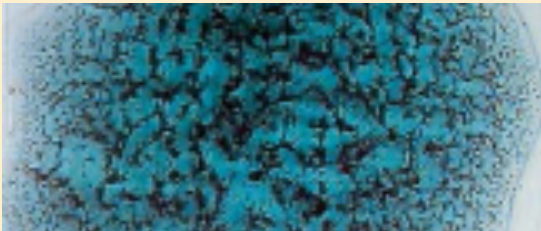
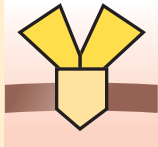
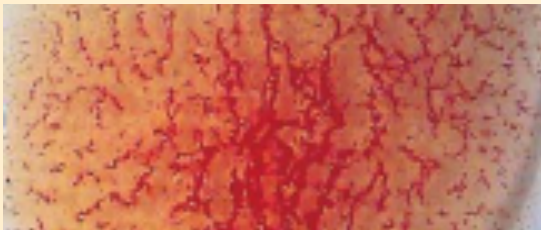
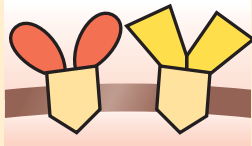
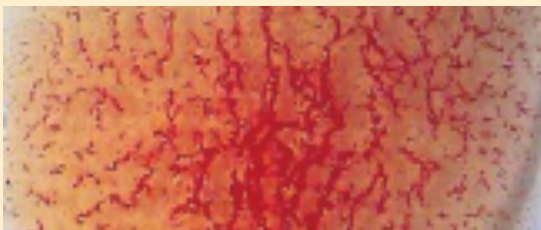
Ihmisen ABO-veriryhmien syntyyn vaikuttaa kolme erilaista alleelia. Näistä A- ja B-veriryhmän aiheuttavat I^A ja I^B ovat dominoivia ja O-veriryhmän aiheuttava i resessiivinen. Jos yksilö kuitenkin perii molemmat dominoivat alleelit, hän on samanaikaisesti veriryhmää A ja B eli hänen veriryhmänsä on AB.

Veriryhmien nimeäminen perustuu punasolun pinnassa olevaan glykoproteiiniin, joka toimii antigeeninä (aineena, joka käynnistää elimistössä vasta-aineen tuotannon).



ABO-veriryhmien geno- ja fenotyypit sekä veressä esiintyvät vasta-aineet

genotyyppi	fenotyyppi veriryhmä	veressä oleva vasta-aine
ii	O	anti-A ja anti-B
I ^A I ^A	A	anti-B
I ^A i	A	anti-B
I ^B I ^B	B	anti-A
I ^B i	B	anti-A
I ^A I ^B	AB	ei vasta-ainetta

	Anti-A	Anti-B
A-veriryhmä 		
B-veriryhmä 		
AB-veriryhmä 		
O-veriryhmä 		

Veriryhmien määrittämisessä käytetään sakkautumistestiä. Siinä testattavalta otetaan kaksi tippaa verta ja sekoitetaan toiseen anti-A ja toiseen anti-B -vasta-ainetta. Tietty vasta-aine saa punasolut tarttumaan toisiinsa. Verinäytteiden sakkautumisesta voidaan päätellä henkilön veriryhmä.

Jotkin alleelit ovat kaksinkertaisena tappavia

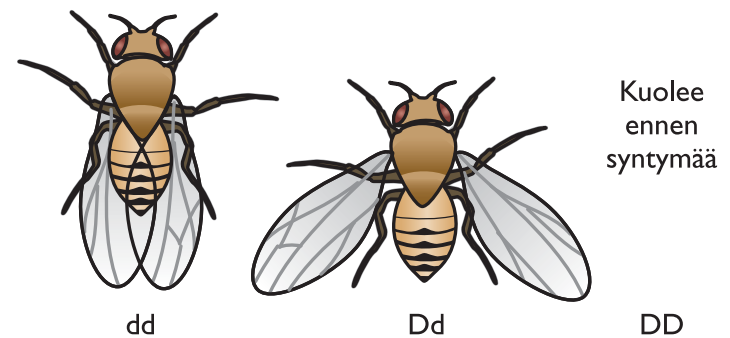
Eräitä alleeleita tavataan vain heterotsygootisilta yksilöiltä. Esiintyessään kahtena kappaleena ne aiheuttavat jälkeläisen kuoleman jo ennen tämän syntymää tai viimeistään ennen lisääntymisikää. Tällaisia alleeleita kutsutaan letaaleiksi.

Eräs letaalialleeli aiheuttaa banaanikärpäsellä normaalista poikkeavat vinot siivet. Jos kaksi tällaista heterotsygootista yksilöä risteytetään keskenään, jää osa hedelmöittyneistä munasoluista kehittymättä. Niissä vinosiipisyyden aiheuttama alleeli on peritty molemmilta vanhemmilta, mikä estää alkion solujen oikeanlaisen erilaistumisen. Koska osa jälkeläisistä kuolee vinosiipisiä ja normaalsiipisiä banaanikärpäsiä syntyy lukusuhteessa 2:1.

Letaalialleelit ovat luonnossa melko yleisiä. Arvion mukaan jokaisen ihmisen perintötekijöissä on useita letaalialleeleita. Ne ilmenevät kuitenkin vasta, kun ne peritään molemmilta vanhemmilta. Näin riski, että

jälkeläinen perii kaksi samanlaista letaalialleeliä, on häviävän pieni.

Myös kasveilla tunnetaan lehtivihreän muodostumista ohjaavista geeneistä resessiivisiä letaalialleeleita. Jälkeläinen, joka perii tällaisen alleelin molemmilta vanhemmiltaan, ei pysty tuottamaan lainkaan lehtivihreää. Koska yhteyttäminen ei onnistu ilman lehtivihreää, yksilö kuolee heti itämisvaiheen jälkeen.



Normaali banaanikärpänen ja vinosiipinen, niin kutsuttu *dichaete*-tyyppi, joka on poikkeuksetta heterotsygootinen siiven rakenteeseen vaikuttavan alleeliparin suhteen. Vinosiipisyyden alleeli dominoi normaalsiipisyyden alleelia. Kaksinkertaisena (DD) se on letaali.



Soijalla tavataan alleeli, joka estää lehtivihreän tuotannon. Yksilö, joka on perinyt tämän alleelin molemmilta vanhemmiltaan, ei kykene yhteyttämään. Kasvi kuolee heti kun se on käyttänyt siemenessä olevan vararavinnon loppuun.

TEHTÄVÄT

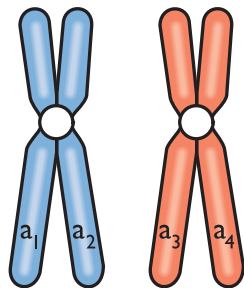
1. Geeni ja alleeli

Seuraavan tehtävän avulla voit selvittää itsellesi, oletko ymmärtänyt geenin ja alleelin käsitteet. Oheisessa kuvassa näkyy yksi vastinkromosomipari, jossa kromosomit ovat kahdentuneina. Molempiin kromosomeihin on merkitty samassa lokuksessa sijaitsevan geenin alleelit kirjainsymbolein.

Vastaa, ovatko alleeliparien

- 1) a_1 ja a_2 , 2) a_1 ja a_4 ,
- 3) a_3 ja a_4 , 4) a_2 ja a_3 alleelit:

- a. välttämättä erilaisia
- b. välttämättä samanlaisia
- c. joko samanlaisia tai erilaisia.



2. Albinismin periytyminen

Kun musta marsu risteytetään valkoisen albiinomarsun kanssa, syntyy 12 mustaa jälkeläistä. Kun albiinomarsu risteytetään toisen mustan marsun kanssa, saadaan puolestaan 7 mustaa ja 5 valkoista poikasta. Miten voit selittää tuloksen? Merkitse vanhempien ja jälkeläisten genotyypit sekä vanhempien tuottamat sukusolutyypit näkyviin.

3. Kanin karvan pituuden periytyminen

Kaneilla lyhytkarvaisuus on dominoiva ominaisuus pitkäkarvaisuuteen verrattuna. Kun pitkäkarvainen koiraskani parittelee lyhytkarvaisen naaraan kanssa, syntyy kahdeksan poikasta. Poikasista kuusi on lyhytkarvaisia ja kaksi pitkäkarvaisia. Selvitä tulos. Poikkeako se teoreettisesta jakaumasta?

4. Undulaattien väritys

Undulaatilla dominoiva alleeli saa aikaan perusväriaineen tuotannon ja linnusta tulee sen vaikutuksesta vihreä. Väriaineen puuttumisen saa puolestaan aikaan resessiivinen alleeli ja linnusta tulee sininen. Eräs linnunkasvattaja risteytti kolme vihreää uroslintua kolmen sinisen naaraan kanssa. Kaikki jälkeläiset olivat vihreitä.

- a. Mitkä olivat koiraiden ja naaraiden genotyypit?
- b. Minkälaisia jälkeläisiä ja missä lukusuhteessa niitä syntyy, jos risteytetään vihreitä jälkeläisiä keskenään?
- c. Miten on mahdollista selvittää risteytyksellä kolmannen sukupolven vihreän uroslinnun genotyyppi?

5. Veriryhmän periytyminen

Mies on A-veriryhmää ja nainen AB-veriryhmää. Osoita risteytyskaavion avulla, minkälaisia heidän lapsensa voivat olla veriryhmältään.

6. Lapsen veriryhmä

Isä ja äiti ovat kumpikin veriryhmää A. Millä todennäköisyydellä heidän tuleva lapsensa on veriryhmää A, B ja O? Perustele vastauksesi risteytyskaavion avulla.

7. Letaalialleeli hevosella

Hevosella syntymästä asti valkoisen värin määrää dominoiva alleeli W (dominant white), joka on homotsygoottisena letaali.

- a. Mikä on todennäköinen tulos, kun valkoinen tamma astutetaan mustalla orilla, joka on perimältään homotsygoottinen?
- b. Millä todennäköisyydellä syntyy valkoinen varsa, kun sama tamma astutetaan valkoisella orilla?

8. Hevossiittolan omistajan ongelma

Ison hevossiittolan omistaja halusi tuottaa mahdollisimman paljon voikonvärisiä hevosia. Hänellä oli tallissaan hyvä voikonvärinen siitosori sekä punaruskeita, kermanvärisiä ja voikonvärisiä tammoja. Oliko väliä, minkä värisiä tammoja hän käytti astutuksessa? Voikon väri on seurausta välimuotoisesta periytymisestä. Perustele vastauksesi risteytyskaavioiden avulla.



9. Jäkeläisten lukusuhteet

Selvitä mihin perustuu se, että

- Mendelin risteytettyä sileäsiemenisen herneen kurtusiemenisen kanssa oli jäkeläisissä 106 sileäsiemenistä ja 102 kurtusiemenistä,
- kahden vaaleanpunaisen kukan jäkeläisistä on noin 25 % tummanpunaisia ja noin 25 % valkoisia,
- kun risteytetään hännättömiä kissoja keskenään, syntyy hännättömiä ja hännällisiä pentuja lukusuhteessa 2:1.

10. Multippleit alleelit kanilla



Kanin karvan väri aiheutuu multippleista alleeleista. Harmaan värin alleeli dominoi albinismialleelia ja alleelia, joka aiheuttaa himalaja-albinismin. Himalaja-albinismin alleeli taas dominoi albinismialleelia.

- Harmaan kanin ja himalajankanin yhteisistä jäkeläisistä oli 6 harmaata, 3 himalajankania ja 2 albiinoa.
 - Kaksi näistä harmaista jäkeläisistä risteytettiin keskenään, jolloin tuloksena oli 8 harmaata ja 2 himalajankania.
- Mitkä olivat kummassakin tapauksessa vanhempien mahdolliset genotyypit? Perustele vastauksesi ja esitä risteytyskaaviot.



11. Geenimutaatiot tuottavat joskus uusia hyödyllisiä piirteitä

Laktoosi-intoleranssi on oireyhtymä, jonka maitotuotteiden nauttiminen laukaisee. Kyseessä on imeväisvaiheen jälkeen tapahtuva laktaasientsyymin aktiivisuuden lasku. Laktaasientsyymin pilkkoo maitosokeria suolessa glukoosiksi ja galaktoosiksi. Jos entsyymin toiminta on vähentynyt tai loppunut, suolissa oleva maitosokeri ei pilkkoudu ja se vaikuttaa mm. veden takaisinimeytymiseen paksusuolella. Suolistobakteerit muodostavat lisäksi pilkkoutumatonta maitosokerista kaasuja.

Kansainvälisesti erittäin arvostettu suomalainen professori Leena Palotie työryhmineen paikansi vuonna 2005 maitotuotteiden siedon aiheuttavan geenimuodon syntymäpaikan Ural-vuoriston eteläpäähen. Kyky sietää maitotuotteita johtuu yhdestä geenimutaatiosta, joka kehittyi 4600-2800 eaa. suomalais-ugrilaisen kansojen keskuudessa. Uusi alleeli säilyi, koska se mahdollisti aikuisille maidon juonnin, mikä auttaa selviytymään karuissa olosuhteissa. Uralin kansat levittivät ”maitoalleelin” edelleen muun muassa Pohjois-Eurooppaan, missä laktoosi-intoleranssi on harvinaisempaa kuin muualla.

- Ihmiskunnan esihistoriassa kaikki olivat ilmeisesti laktoosi-intolerantteja eli heiltä puuttui ”maitoalleeli”. Miksi tämä alleeli on kuitenkin hyvin yleinen Suomessa (yli 80 %:lla väestöstä on se perimässään) ja puolestaan on hyvin harvinainen Thaimaassa?
- Vanhemmilla, jotka voivat juoda maitoa normaalisti, on laktoosi-intolerantti tytär. Mitä tämä kertoo ”maitoalleelin” periytymisestä ja vanhempien genotyypeistä? Mikä todennäköisyys lapsen tulevalla sisaruksella on kärsiä tästä samasta vaivasta aikuisiällä?
- Tee piirroksarja laktaasientsyymin katalysoimasta katabolisesta reaktiosta. Kuvassa tulee ilmetä substraatti, lopputuotteet sekä entsyymin aktiivinen kohta.

Yhteenveto

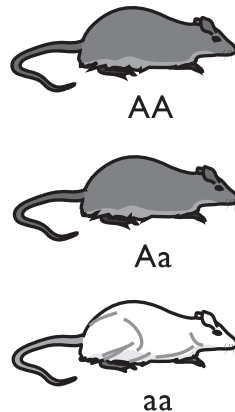
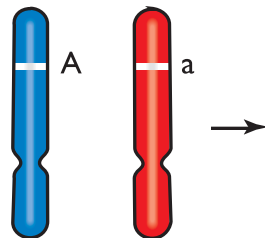
Eliöiden ominaisuuksiin vaikuttavat sekä vanhemmilta perityt geenit että ympäristö.



Geenit sijaitsevat kromosomeissa, missä niillä jokaisella on oma tarkka paikka eli lokus.

Samasta geenistä voi esiintyä erilaisia muotoja, joita kutsutaan alleeleiksi.

Vastinkromosomien alleelit määräävät, miten ominaisuus ilmenee jälkeläisessä.

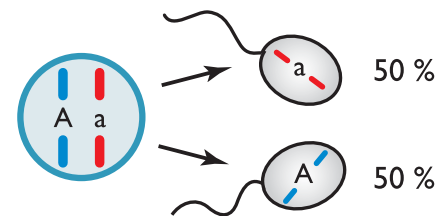
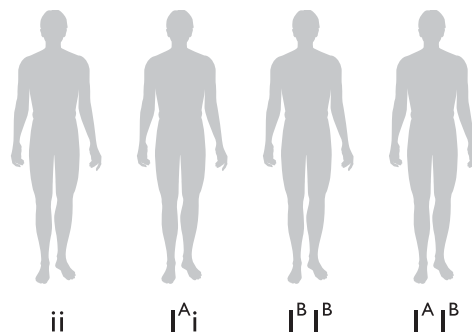


Dominoivat alleelit peittävät toisen alleelin vaikutuksen, ja näin ne ilmentävät tiettyä ominaisuutta myös heterotsygoottisena.

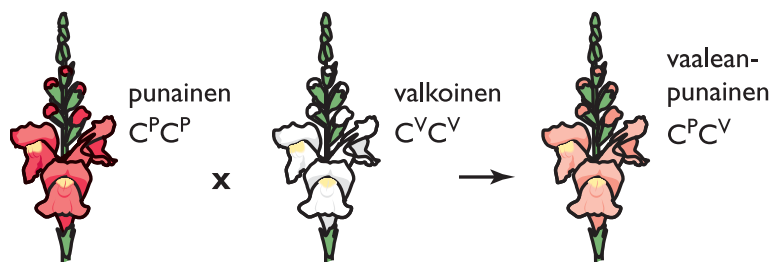
Resessiiviset alleelit vaikuttavat fenotyyppiin vain, jos niitä on kaksi kappaletta.

Meioosissa sukusoluun tulee alleeliparista sattumanvaraisesti vain toinen alleeli.

Vaikka yksilöllä voi olla yhdestä geenistä ainoastaan kaksi alleelia kerrallaan, niitä voi esiintyä populaatiossa useita erilaisia.



Välimuotoisessa periytymisessä saman geenin kahden eri alleelin vaikutus ilmenee yksilössä samanaikaisesti.



Yhteisvallitsevassa periytymisessä kumpikin alleeli vaikuttaa ominaisuuteen itsenäisesti.



Avainsanat

alleeli
autosomi
dominoiva alleeli
fenotyyppi
genotyyppi
heterotsygoottinen
homotsygoottinen
letaali alleeli
lokus
monohybridisteytys
multippeli alleeli
muovautumismuuntelu
resessiivinen alleeli
välimuotoinen periytyminen
yhteisvallitseva periytyminen

Sukupuoli vaikuttaa joidenkin ominaisuuksien periytymiseen

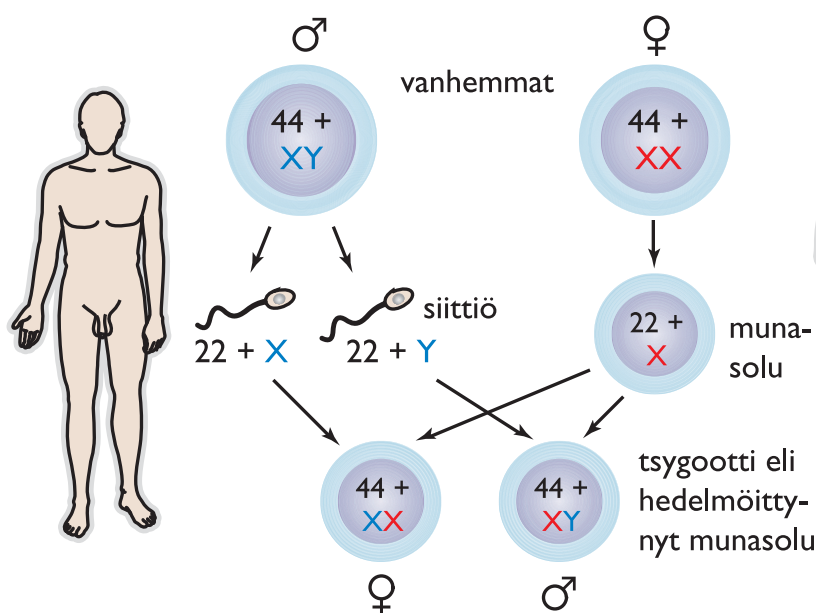
Yhdellä verenvuototaudin tyypillä, hemofilia-A:lla, on mielenkiintoinen historia. Kuuluisa Englannin kuningatar Victoria (1819–1901) oli tämän harvinaisen taudin kantaja. Hänen poikansa Leopold sairastui hemofiliaan ja sairautta aiheuttava alleeli levisi Victorian tyttärien mukana Preussin, Venäjän ja Espanjan kuningassukuihin. Tauti alkoi yleistyä, koska avioliitot sukulaisten kesken olivat tavallisia näissä suvuissa. Hemofiliasta tulikin eräänlainen kuninkaallisten sairaus. Hoveissa kuitenkin ihmeteltiin sitä, miksi vain pojat sairastuivat.



Yleensä sukupuolen määräävät sukupuolikromosomien geenit

Kromosomit voidaan jakaa sukupuolikromosomeihin ja ”muihin” kromosomeihin eli autosomeihin. Sukupuolikromosomeissa on geenejä, jotka vaikuttavat jälkeläisen sukupuoleen ja sukupuolisiin ominaisuuksiin. Näissä kromosomeissa on kuitenkin myös muihin kuin sukupuoliominaisuuksiin vaikuttavia

geenejä. Olemme tähän mennessä tarkastelleet yksittäisten autosomeissa sijaitsevien geenien periytymistä ja niiden vaikutusta yksilön ilmiäsuun. Nyt tutustumme sukupuolikromosomien geeneihin ja siihen, miten niiden ilmeneminen eroaa koiras- ja naarasjälkeläisissä.

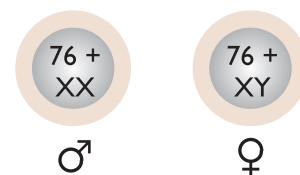


Nisäkkäillä koiraan tuottama sukusolu määrää jälkeläisen sukupuolen. Ihmisillä koiras on XY-tyyppiä ja naaras XX-tyyppiä.

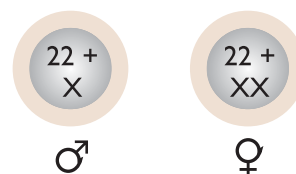
Eläimillä sukupuoli määräytyy yleensä sillä hetkellä, kun siittiö tunkeutuu munasoluun. Ihminen on muiden nisäkkäiden kaltainen, eli mies on XY-tyyppiä ja nainen XX-tyyppiä. Siittiössä oleva sukupuolikromosomi määrää, tuleeko jälkeläisestä mies vai nainen: jos tämä kromosomi on tyyppiä Y, tulee jälkeläisestä mies, ja X-kromosomi puolestaan johtaa yksilön kehittymiseen naiseksi. Munasolussa voi olla vain X-kromosomi, joten se ei ratkaise uuden yksilön sukupuolta.

Y-kromosomissa oleva geeni (SRY eli Sex determining Region of Y-chromosome) käynnistää sukupuolirauhasen erilaistumisen kivekseksi sikiönkehityksen aikana. Kivekset puolestaan alkavat tuottaa testosteroonia, joka aiheuttaa miehisten sukupuoliominaisuuksien kehittymisen. X-kromosomista tämä geeni puuttuu, ja sikiö jatkaa kehittymistään naiseksi. Olemme itse asiassa kaikki kaksi ensimmäistä elinkuukauttamme naisia. Vasta tämän jälkeen erilaistuminen mieheksi alkaa tai on alkamatta.

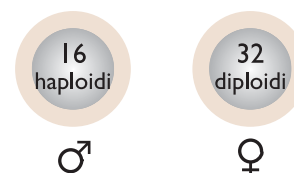
Myös ympäristö voi määrätä sukupuolen. Esimerkiksi kilpikonnat munivat hiekkaan lukuisia munia. Jos hiekka on alle +27-asteista, syntyy vain koiraita, ja yli +30-asteisessa ympäristössä syntyy vain naaraita. Kumpaakin sukupuolta syntyy noin +28,5-asteen lämpötilassa yhtä paljon. Myös lajikumppanit voivat vaikuttaa eräillä lajeilla yksilön sukupuoleen. Vuokkokalat elävät pareittain merivuokkojen lomassa trooppisten merien koralliriutoilla. Pienikokoinen koiras elää yhden isokokaisen aikuisen naaraan kanssa ja suojelee sen munia. Jos naaras kuolee, koiras vaihtaa sukupuolta. Siitä tulee jonkin pienemmän, ympäristössä vaeltavan koiraan ”puoliso”.



Lintujen, eräiden kalojen ja perhosten koiraalla on kaksi keskenään samanlaista sukupuolikromosomia (XX). Naaraiden sukupuolikromosomien tyyppi on XY. Näin naaraan sukusolu määrää sukupuolen.



Heinäsirkoilla ja eräillä muilla hyönteisillä naaraat ovat tyyppiä XX, mutta koirailta puuttuu toinen sukupuolikromosomi, joten niistä käytetään yleensä merkintää X0. Koiras siis tuottaa kahdenlaisia siittiöitä: sellaisia, joissa on sukupuolikromosomi ja sellaisia, joista se puuttuu. Näin siittiö määrää jälkeläisen sukupuolen.



Pistiäisillä, kuten ampiaisilla, koiraat syntyvät hedelmöittymättömistä munasoluista partenogeneettisesti eli neitseellisesti. Näin ne ovat haploidisia. Naaraat, kuningatar ja työläiset kehittyvät puolestaan hedelmöittyneistä munasoluista ja ovat näin kromosomistoltaan diploidisia.



Nisäkäspopulaatiossa tavataan naaraita ja uroksia yleensä suurin piirtein saman verran. Tässä suhteessa metsäsopuli on poikkeus. Sille on kehittynyt perinnöllinen mekanismi, jonka ansiosta uroksia syntyy vain 25 % koko poikasmäärästä. Naaraiden suuri määrä selittyy sillä, että niillä on kahdentyyppisiä sukupuolikromosomistoja: XX ja XY. Tämä on mahdollista, koska tällä lajilla on osassa X-kromosomeista geeni, joka estää Y-kromosomin urosgeenin toiminnan. Näin osa XY-tyyppin yksilöistä kehittyy naaraiksi.



Kreikankilpikonna



Vuokkokaloja

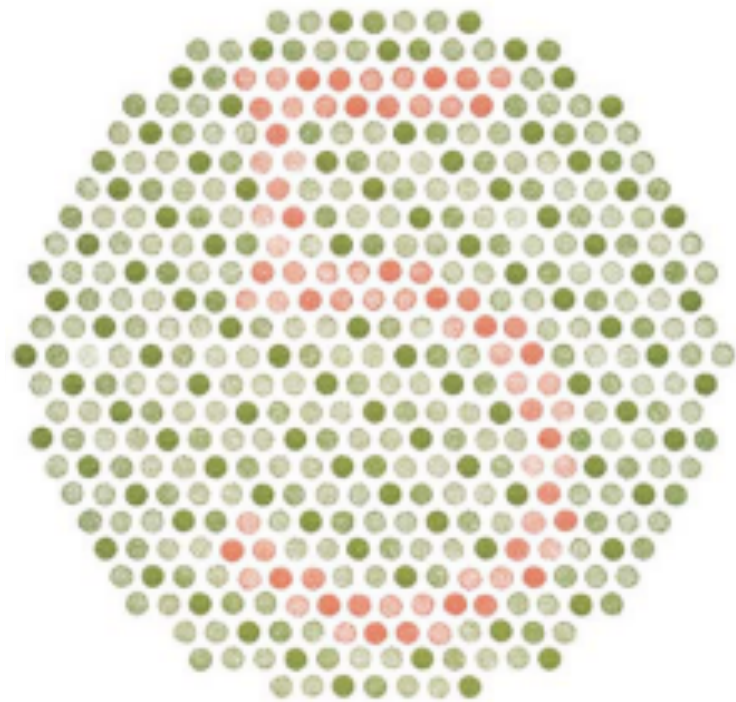
X-kromosomin geenit

Sukupuolikromosomeissa on myös sellaisia geenejä, jotka vaikuttavat muihin kuin sukupuoliominaisuuksiin. Ihmisen Y-kromosomissa on vain vähän näitä geenejä, mutta X-kromosomista niitä on sen sijaan löydetty yli 750.

Naisilla on kaksi X-kromosomia ja miehillä yksi. Naisen tulee näin ollen olla homotsygoottinen eli periä sama alleeli sekä isältään että äidiltään, jotta hän ilmentäisi X-kromosomissa periytyvää resessiivistä ominaisuutta. Sen sijaan miehellä nämä alleelit aiheuttavat ominaisuuden jo yksinkertaisina, koska X- ja Y-kromosomit ovat erilaisia ja niistä puuttuvat vastinalleelit. X-kromosomissa periytyvien resessiivisten alleelien aiheuttamat ominaisuudet ovatkin miehillä yleisempiä kuin naisilla. Poikkeuksena tästä ovat naisen sukupuoliominaisuudet.

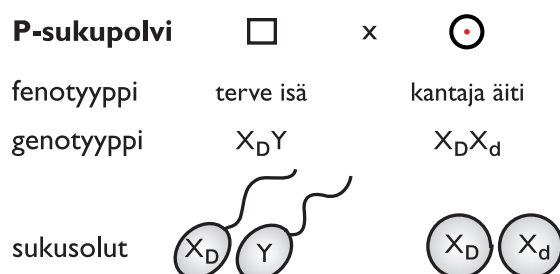
Punavihersokeus, joka estää näkemästä maailmaa normaalin värisenä, on kohtalaisen tavallinen miehillä (7–8 %), mutta harvinainen naisilla (0,5 %). Sen aiheuttaa resessiivinen alleeli, jonka vaikutuksesta verkkokalvon värejä aistivien solujen normaali toiminta estyy. Pojalle riittää yksi äidiltä peritty värisokeutta aiheuttava alleeli, kun taas tyttären on saatava se molemmilta vanhemmiltaan.

Myös yleisimmän verenvuototaudin eli hemofilian A:n geeni sijaitsee X-kromosomissa ja tauti periytyy näin sukupuoleen sitoutuneesti. Verenvuototautilia sai-

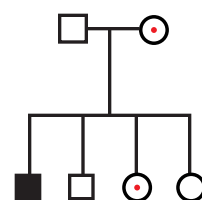


Punavihersokeutta voidaan testata tämänkaltaisella testikuvalla.

rastavalta henkilöltä puuttuu verestä hyytymistekijä. Sairaus johti aikaisemmin lähes poikkeuksetta ennenaikaiseen kuolemaan, sillä pienikin haava tai sisäinen verenvuoto oli usein kohtalokas. Nykyisin voidaan hyytymistekijää antaa potilaalle ruiskeena verenkiertoon, ja hän voi elää lähes normaalia elämää.



	X_D	X_d
X_D	$X_D X_D$ ○	$X_D X_d$ ○
Y	$X_D Y$ □	$X_d Y$ ■



X_D = normaalin näkökyvyn aiheuttava alleeli
 X_d = punavihersokeuden aiheuttava alleeli

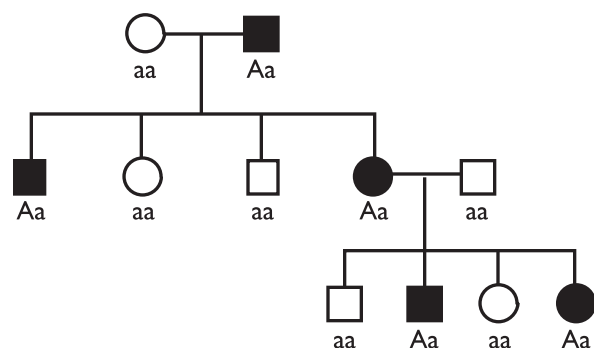
- = terve nainen
- = kantaja nainen
- = terve mies
- = punavihersokea mies

Sukupuuo kertoo ominaisuuden periytymistavasta

Sukututkimus on hyvin käyttökelpoinen tapa, kun halutaan tutkia yhden geenin (alleeliparin) aiheuttaman ominaisuuden periytymistapaa. Ominaisuuden esiintymisestä suvussa kerätään mahdollisimman kattava aineisto ja rakennetaan sen perusteella sukupuuo. Sukupuun avulla voidaan seurata tietyn fenotyypin periytymistä ja tehdä päätelmiä sen periytymistavasta.

Ominaisuuden ilmenemiseen vaikuttava alleeli voi olla dominoiva tai resessiivinen. Dominoivalle alleelille on tyypillistä, että sen aiheuttamaa fenotyyppiä tavataan kaikissa sukupolvissa. Sen sijaan resessiivisen alleelin aiheuttama fenotyyppi voi esiintyä piilevänä jopa monien sukupolvien ajan, koska ilmentääkseen tällaista piirrettä jälkeläisen täytyy periä se molemmilta vanhemmiltaan.

Dominoiva alleeli autosomissa

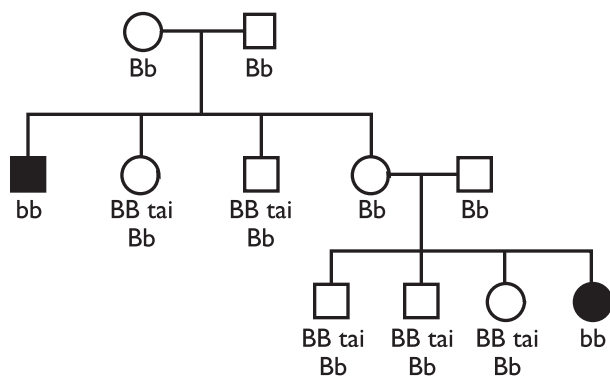


A = dominoiva alleeli, joka aiheuttaa tutkittavan fenotyypin

■ fenotyyppiä ilmentävä mies

● fenotyyppiä ilmentävä nainen

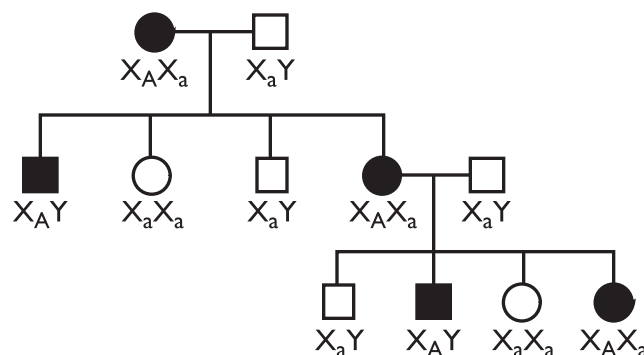
Resessiivinen alleeli autosomissa



b = resessiivinen alleeli, joka aiheuttaa tutkittavan fenotyypin

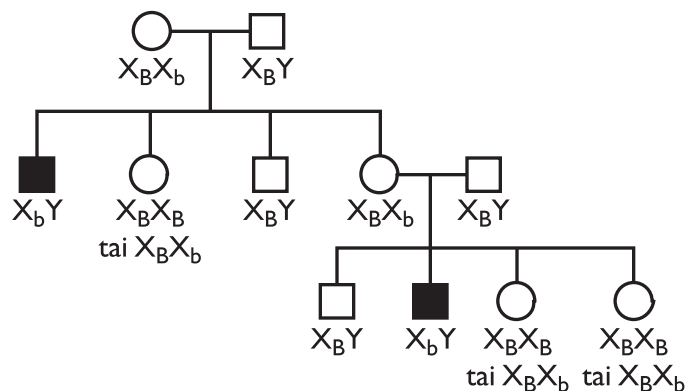
Periytymistapa riippuu myös siitä, sijaitseeko geeni autosomissa vai sukupuolikromosomissa. Sukupuolikromosomeissa sijaitsevien alleelien periytyminen on sukupuoleen sitoutunutta. Y-kromosomissa olevien alleelien aiheuttamat fenotyypit ilmenevät nisäkkäillä vain koiraisissa, koska koirasjälkeläinen perii aina tämän kromosomin isältään. Mikäli X-kromosomissa oleva alleeli on resessiivinen, se on selvästi yleisempi koiraille kuin naarailla.

Dominoiva alleeli X-kromosomissa



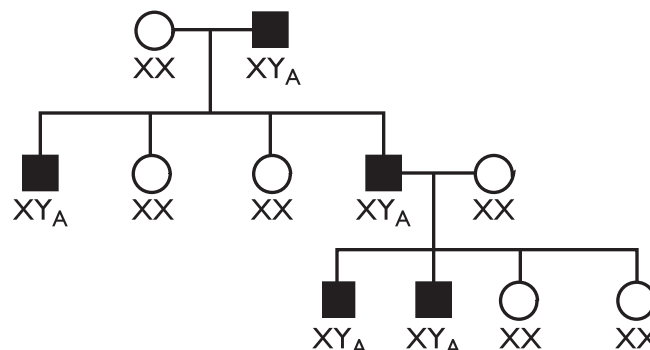
X_A = dominoiva alleeli, joka aiheuttaa tutkittavan fenotyypin. Geenin lokus sijaitsee X-kromosomissa.

Resessiivinen alleeli X-kromosomissa



X_b = resessiivinen alleeli, joka aiheuttaa tutkittavan fenotyypin. Geenin lokus sijaitsee X-kromosomissa.

Alleeli Y-kromosomissa



TEHTÄVÄT

1. Kirjavia ja valkoisia kanoja

- Miten lintujen sukupuoli määräytyy?
- Kanojen valkea väri aiheutuu X-kromosomissa sijaitsevasta resessiivisestä alleelistä. Vastaava dominoiva alleeli aiheuttaa kirjavan värin. Minkälaisia ovat kirjavan kanan ja valkoisen kukon jälkeläiset?

2. Geno- ja fenotyytit

Mitkä ovat vanhempien geno- ja fenotyytit, jos heille syntyy punavihersokea tyttö? Perustele vastauksesi risteytyskaavioiden avulla.

3. Hemofilia

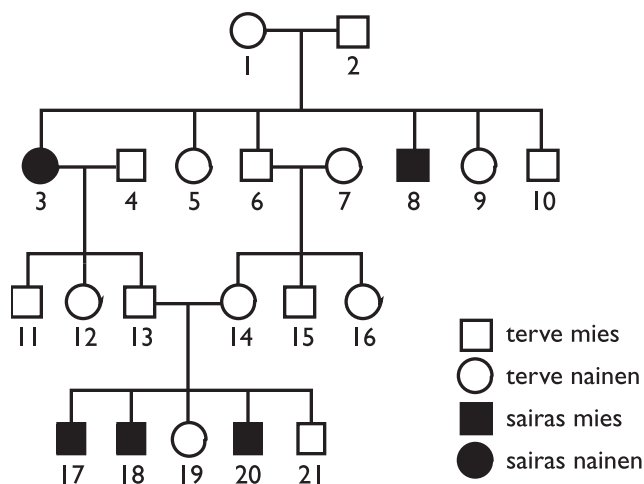
Hemofilia johtuu ihmisellä X-kromosomissa sijaitsevasta resessiivisestä geenistä. Perheen isä sairastaa tätä sairautta. Äiti sen sijaan on terve samoin kuin kaikki hänen sukulaisensa.

- Millä todennäköisyydellä tämän perheen lapset sairastuvat hemofiliaan?
- Millä todennäköisyydellä lapsenlapset puolestaan saavat tämän perinnöllisen sairauden, kun oletetaan, että heidän puolisonsa eivät ole sairaita tai sairauden kantajia? Perustele vastauksesi risteytyskaavioiden avulla.

4. Perinnöllinen sairaus

Oheinen sukupuu kuvaa eräällä nisäkäslajilla esiintyvän sairauden periytymistä. Selvitä kirjaintunnuksin sairauden periytymistapa ja perustele vastauksesi seuraaviin kysymyksiin.

- Aiheuttaako sairauden dominoiva vai resessiivinen alleeli?
- Sijaitseeko geeni X-kromosomissa, Y-kromosomissa vai autosomissa?
- Miksi niin moni yksilöiden 13 ja 14 jälkeläinen (17–21) on sairas?

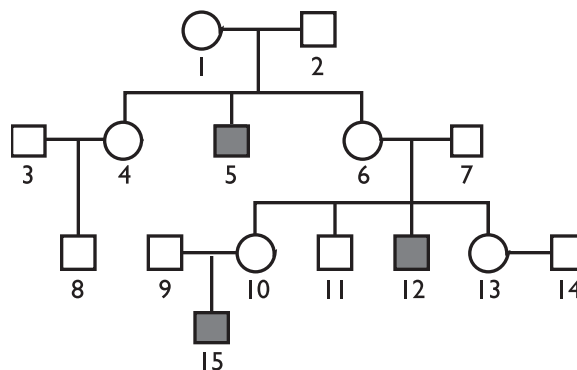


5. Lihasrappeumataudin periytyminen

yo k-08

Oheinen sukupuu kuvaa lihasrappeumataudin periytymistä eräässä suvussa. Oletetaan, että suvun ulkopuolisilla henkilöillä 3, 7, 9 ja 14 ei ole kyseistä tautigeeniä. Päätele ja perustele:

- Miten tauti periytyy?
- Ketkä ovat varmasti taudin kantajia?
- Millä todennäköisyydellä pariskunnan 13 ja 14 poika on sairas?
- Millä todennäköisyydellä saman pariskunnan seuraava poika on sairas?

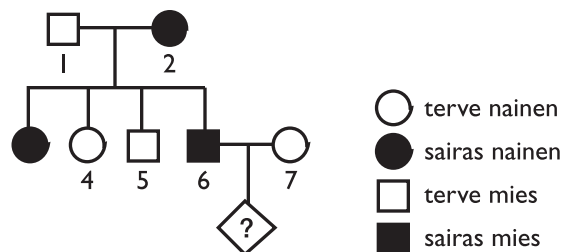


- mies, sairastaa lihasrappeumatautia
- mies, ei sairasta lihasrappeumatautia
- nainen, ei sairasta lihasrappeumatautia

6. Perinnöllisyysneuvontaa

yo k-00

Esikoistaan odottava pariskunta (6 ja 7) saapuu perinnöllisyysneuvontaan. He haluavat saada tietoa miestä ja tämän sukua rasittavan sairauden periytymisestä odottamalleen poikavauvalle. Sairautta ei esiinny naisen suvussa, eikä sen periytymistapa ole ennestään tiedossa. Heidän antamiensa tietojen perusteella laaditaan miehen sukupuu:

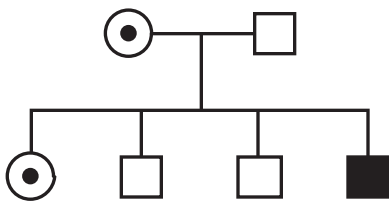


- Asetu perinnöllisyysneuvojan asemaan ja tutki sukupuuta. Päätele ja perustele sairauden mahdolliset periytymistavat (autosomaalinen dominoiva, autosomaalinen resessiivinen, sukupuoleen sitoutunut dominoiva, sukupuoleen sitoutunut resessiivinen). (4 p.)
- Selvitä syntyvän poikavauvan sairauden todennäköisyys eri tapauksissa. (2 p.)

Y h t e e n v e t o

Sukupuoli määräytyy sukupuolikromosomissa olevien geenien, kromosomiluvun tai ympäristötekijöiden vaikutuksesta.

X-kromosomissa olevat resessiivisten alleelien aiheuttamat piirteet ovat yleisempiä pojilla kuin tytöillä.



Sukupuun avulla on usein mahdollista päätellä periytykö ominaisuus

- resessiivisenä autosomissa
- dominoivana autosomissa
- resessiivisenä X-kromosomissa
- dominoivana X-kromosomissa
- Y-kromosomissa.

Avainsanat

autosomi
sukupuolen määräytyminen
sukupuolikromosomi
sukupu
sukupuolikromosomeihin
sitoutunut periytyminen
X-kromosomi
Y-kromosomi



Venäjän viimeisen tsaariperheen kruununperillinen Aleksei Nicolaevich Romanov on ehkä tunnetuin hemofiliaan sairastunut henkilö. Hän kärsi koko lyhyen elämänsä verenvuotokohtauksista ja kivusta ja joutui viettämään pitkiä aikoja vuoteessa. Kuninkaallisten sukupuuta tutkimmalla on selvinnyt, miten hän peri tämän vaikean sairauden.

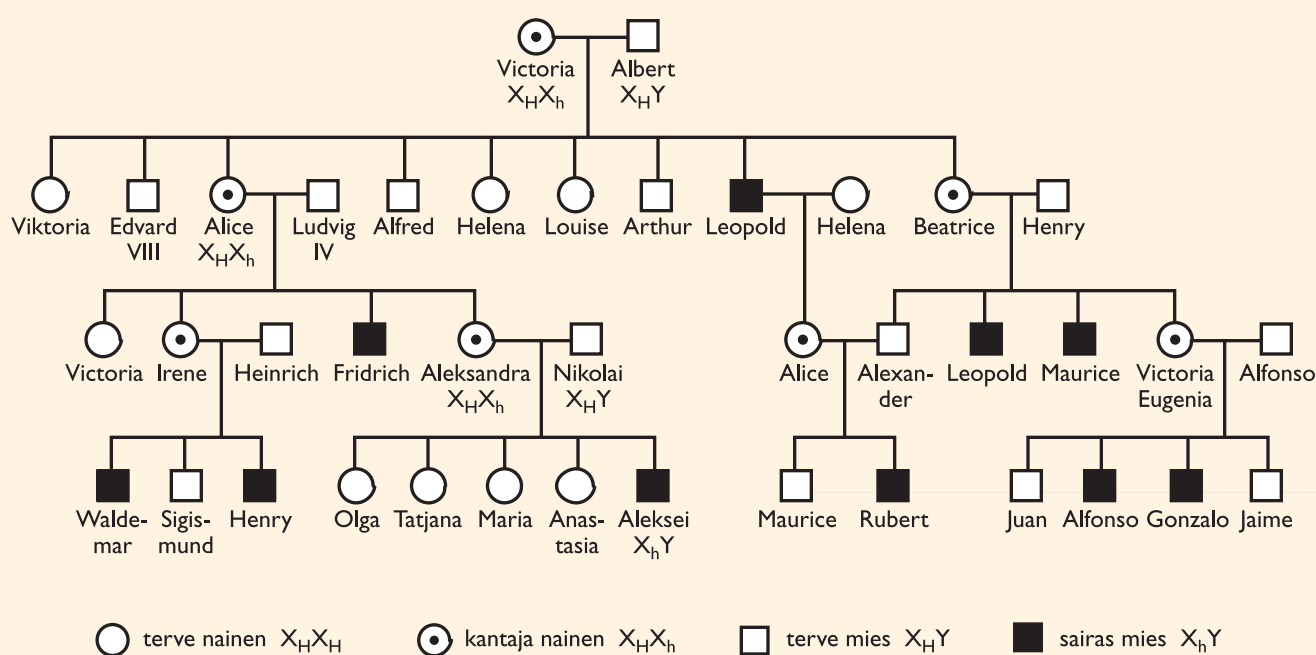
Englannin kuningatar Victoria (1819–1901) ja prinssi Albert saivat kaikkiaan yhdeksän lasta, joista kahdeksan naitettiin eurooppalaisiin

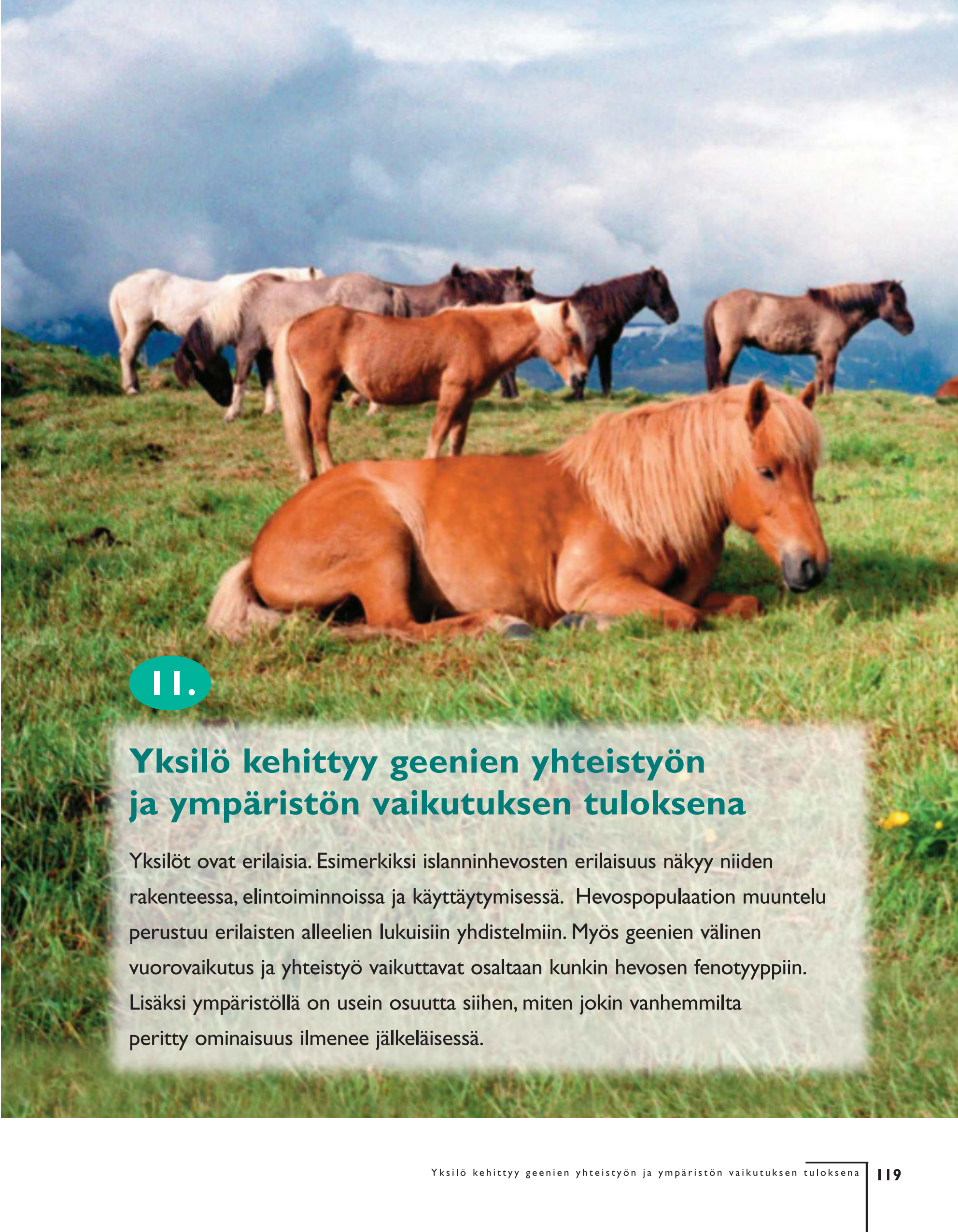
hallitsijasukuihin. Tämän vuoksi lähes kaikki nyky-Euroopan monarkit polveutuvat Victoriasta. Kuningatar oli hemofilia-A:n kantaja ja hänen tyttäriensä kautta se levisi lähes jokaiseen Euroopan kuningassukuun.

Romanovien sukuun sairaus levisi kuningatar Victorian tyttären prinsessa Alicen välityksellä. Alice oli naimisissa Hessenin suurherttua Ludvig IV:n kanssa ja heidän tyttärensä Alix (myöhemmin Alexandra) vihittiin venäjän viimeisen tsaarin Nikolai II:n kanssa Moskovassa. Tsaariper-

heeseen syntyi aluksi neljä tytärtä, ja vihdoinkin vuonna 1904 syntyi kauan odotettu poika. Perheen ilo muuttui kuitenkin nopeasti epätoivoksi, kun hovilääkärit havaitsivat Aleksein sairastavan vaikeaa tautia, johon ei ollut parannuskeinoja. Väitetään, että kruununperillisen sairaus johti hänen äitinsä hakemaan tukea siperialaisesta talonpojasta ”pyhästä miehestä” Grigori Rasputinista, jonka hän uskoi kykenevän parantamaan poikansa. Aleksei ei parantunut ja hän kuoli 1918, jolloin koko tsaariperhe teloitettiin Jekaterinburissa, Uralilla.

Tsaariperheen ruumiit vietiin pois teloituspaijalta ja ne pyrittiin hävittämään mahdollisimman tehokkaasti. Vuosikausiin juuri kukaan ei tiennyt, mitä heille oli tapahtunut. Syntyi huhuja, että jotkut lapsista olisivat selvinneet elossa. Tarinoita oli monia, ja tsaariperheen tyttäriä alkoi ilmaantua eri puolille Eurooppaa. Tarinat elivät, koska oikeat ruumiit löydettiin vasta 1979, ja meni yli kymmenen vuotta ennen kuin saatiin varmuus siitä, että ne olivat todella tsaariperheen jäsenten jäännöksiä. Sukulaisuuden selvittämisessä käytettiin nykyisin yleisesti käytössä olevia DNA-tunnisteita.





II.

Yksilö kehittyy geenien yhteistyön ja ympäristön vaikutuksen tuloksena

Yksilöt ovat erilaisia. Esimerkiksi islanninhevosten erilaisuus näkyy niiden rakenteessa, elintoiminnoissa ja käyttäytymisessä. Hevospopulaation muuntelu perustuu erilaisten alleelien lukuisiin yhdistelmiin. Myös geenien välinen vuorovaikutus ja yhteistyö vaikuttavat osaltaan kunkin hevosen fenotyyppiin. Lisäksi ympäristöllä on usein osuutta siihen, miten jokin vanhemmilta peritty ominaisuus ilmenee jälkeläisessä.

Useista alleelipareista muodostuu monia ominaisuusyhdistelmiä

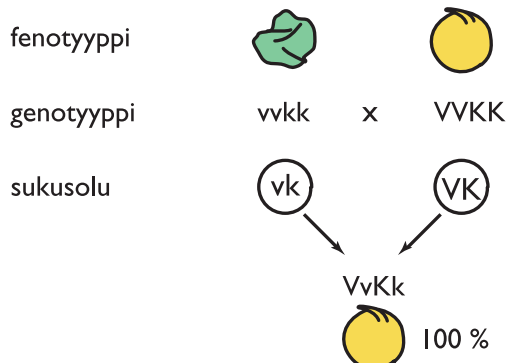
Tähän saakka on tarkasteltu yksittäisiä ominaisuuksia ja niiden erilaisia tapoja periytyä vanhemmilta jälkeläisille. Jokaisella eliöllä on kuitenkin monia ominaisuuksia, joista voi muodostua lukematon määrä ainutkertaisia ominaisuusyhdistelmiä. Jo muutamasta alleeliparista on mahdollista rakentaa monia erilaisia vaihtoehtoja, ja yhdistelmien määrä kasvaa nopeasti alleeliparien määrän lisääntyessä.

Mendel tutki puutarhassaan kukkien värin lisäksi monia muitakin helposti tunnettavia herneen ominaisuuksia, kuten siemenen muotoa ja väriä, kukkien sijoittumista ja varren pituutta. Hän sai selville, mitkä ominaisuudet olivat selvästi dominoivia ja mitkä resessiivisiä. Tämän jälkeen Mendel ryhtyi tutkimaan kahden ominaisuusparin periytymistä yhdessä.

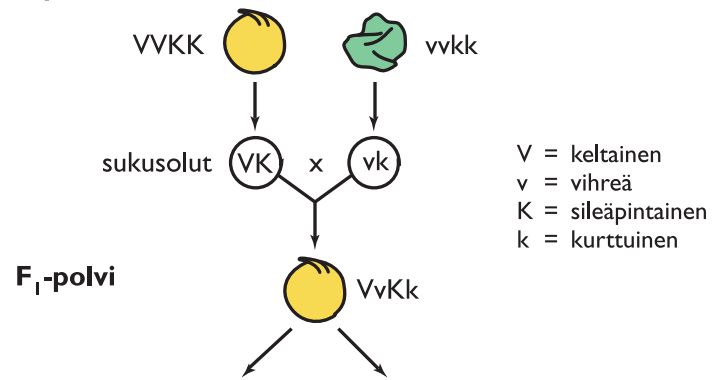
Dihybridiristeytyksessä seurataan samanaikaisesti kahden ominaisuuden periytymistä

Mendel valitsi toisen risteytettävän yksilön hernekannasta, jolla oli sileät ja keltaiset siemenet, ja toisen kannasta, jolla oli kurttuiset ja vihreät siemenet. Hän tiesi aikaisempien kokeittensa perusteella, että sileäpintaisuus dominoi kurttuisuutta ja keltainen väri vihreää. Hän tiesi myös, että molemmat kannat ovat homotsygoottisia. Kun käytetään sovitun genotyypin merkintätapaa, voidaan keltaista, sileäsiemenistä kantaa merkitä kirjainyhdistelmällä VVKK ja vihreää, kurttusiemenistä kantaa yhdistelmällä vvkk.

TESTIRISTEYTYS 1



P-polvi



koiraspuolinen sukusolu

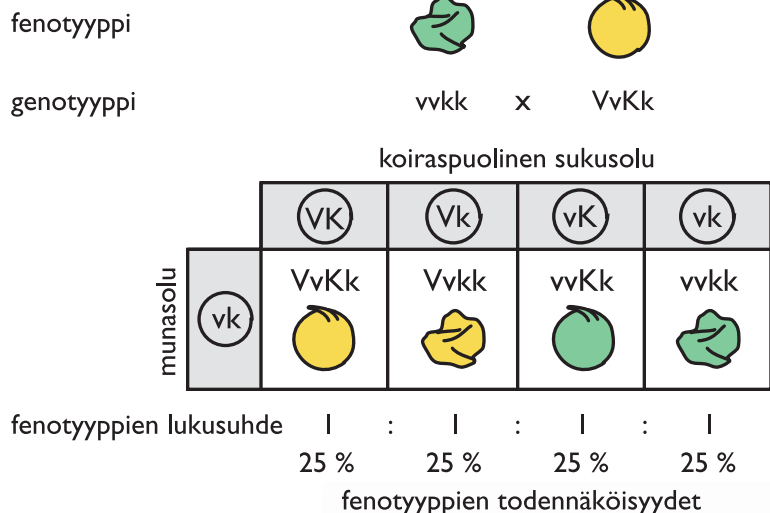
	(VK)	(Vk)	(vK)	(vk)
(VK)	 VVKK	 VVKk	 VvKK	 VvKk
(Vk)	 VVKK	 VVkk	 VvKk	 Vvkk
(vK)	 VvKK	 VvKk	 vvKK	 vvKk
(vk)	 VvKk	 Vvkk	 vvKk	 vvkk

munasolu

fenotyyppien lukusuhte 9 : 3 : 3 : 1

Mendelin herneellä tekemä dihybridiristeytys.

TESTIRISTEYTYS 2



Testiristeytyksessä selviää, onko dominoivaa ominaisuutta ilmentävä yksilö homo- vai heterotsygoottinen. Jos yksilö on homotsygoottinen (testiristeytys 1), syntyy vain yhdenlaisia jälkeläisiä. Jos yksilö on heterotsygoottinen molempien alleeliparien suhteen (testiristeytys 2) syntyy neljänlaisia jälkeläisiä.

P-polven yksilöiden kaikki jälkeläiset olivat odotusten mukaisesti keltaisia ja sileäsiemenisiä ja heterotsygoottisia (VvKk). Mendelin päähuomio kohdistuikin toisen polven jälkeläisiin eli F₂-polveen. Siinä oli isovanhempien kaltaisia yksilöitä aivan kuten monohybridiristeytyksissäkin, mutta joukossa oli myös uudenlaisia ominaisuusyhdistelmiä, sileäkuorisia vihreitä ja kurttu-kuorisia keltaisia. Laskettuaan herneet hän havaitsi niiden noudattavan lukusuhtetta 9:3:3:1 siten, että molempia dominoivia ominaisuuksia ilmentäviä yksilöitä oli eniten ja molempia resessiivisiä ilmentäviä vähiten.

Sileäkuorisen, keltaisen herneen siemenestä ei voi tietää, onko se perimältään homo- vai heterotsygoottinen. Tällaisen herneen genotyypin voi kuitenkin tarkistaa testiristeytyksellä. Siinä risteytetään kurttu-kuorisia vihreitä yksilöitä sileäkuoristen keltaisten kanssa. Mikäli jälkeläisissä on sileäkuorisia vihreitä ja kurttu-kuorisia keltaisia, ovat tutkittavat herneet (sileäkuoriset keltaiset) genotyypiltään heterotsygoottisia. Mikäli kaikki jälkeläiset ovat sileäkuorisia ja keltaisia, ovat testattavat herneet olleet homotsygoottisia molempien ominaisuuksien suhteen. Testiristeytyksiä eli takaisinristeytyksiä on käytetty apuna jalostuksessa, missä on tärkeää tuntea fenotyyppien lisäksi yksilöiden genotyypit.

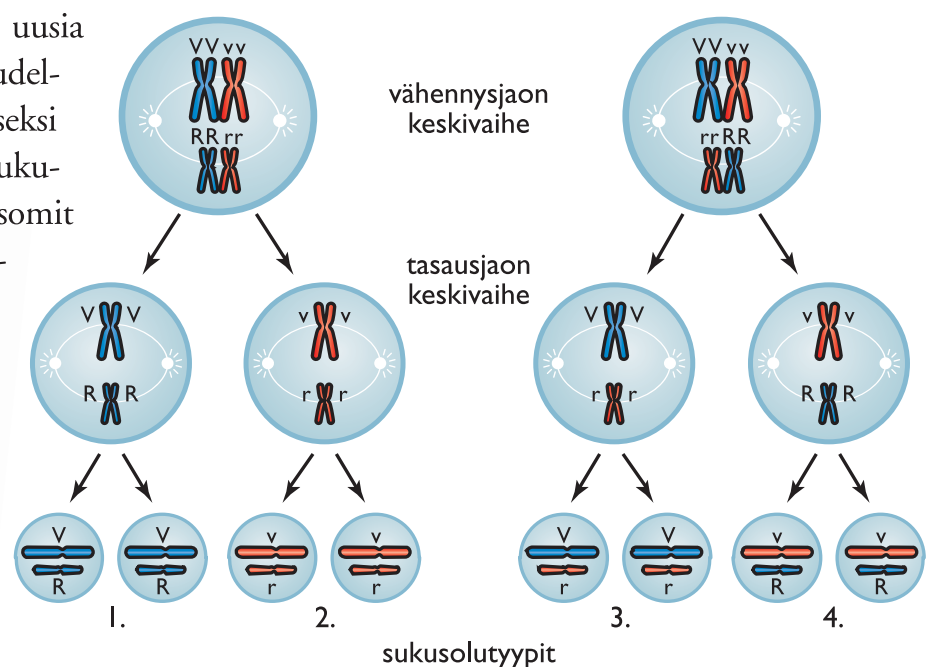
kutakin 25 %. Mendelistinen rekombinaatio pätee silloin, kun geenit sijaitsevat eri kromosomeissa.

Mendelin dihybridiristeytyksien perusteella tehdyt päätelmät on myöhemmin nimetty Mendelin 3. laiksi eli säännöksi geenien vapaasta yhdistymisestä meioosissa: eri kromosomeissa sijaitsevien geenien alleeleista tulee sukusoluihin sattumanvaraisesti kaikkia mahdollisia yhdistelmiä. Tämä sääntö pätee myös silloin, kun seurataan useampaa kuin kahta ominaisuusparia. Fenotyyppien määrää kasvaa nopeasti tarkasteltavien geenien lisääntyessä. Jos kromosomipareja on kolme, syntyy 8 erilaista sukusolutyyppiä. Kun niitä on 12, syntyy sukusoluja jo 4 096 erilaista. Ihmisellä, jolla haploidinen kromosomiluku on 23, syntyy 8 388 608 eli 2²³ sukusolutyyppiä.

Todellisuudessa erilaisia sukusolutyyppiejä syntyy vielä huomattavasti tätäkin enemmän. Meioosin vähennysjaossa kokonaiset kromosomin palaset voivat vaihtaa paikkoja keskenään. Samalla näissä kohdissa olevat alleelit siirtyvät vastinkromosomista toiseen. Ilmiötä kutsutaan tekijäinvaihdunnaksi, ja sen seurauksena sukusoluihin syntyy uudenlaisia alleeliyhdistelmiä. Tekijäinvaihduntaa ja mendelististä rekombinaatiota kutsutaan yhdessä geneettiseksi rekombinaatioksi.

Rekombinaation tuloksena syntyy vanhemmista poikkeavia jälkeläisiä

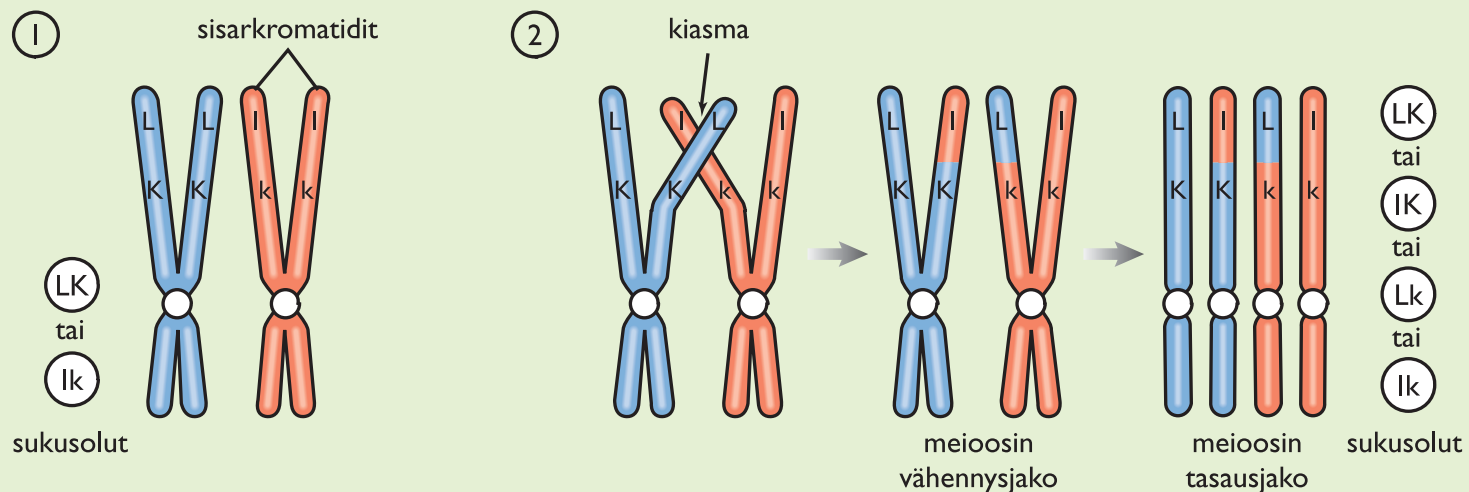
Dihybridiristeytyksessä syntyy F₂-polvessa uusia ominaisuusyhdistelmiä, ja tätä alleelien uudelleen järjestymistä kutsutaan mendelistiseksi rekombinaatioksi. F₂-polven jälkeläisten lukusuhte perustuu siihen, että vastinkromosomit asettuvat meioosissa pareittain sattumanvaraisesti. Näin ollen, kun yksilö on molempien geenien suhteen heterotsygoottinen, kahdessa eri kromosomissa olevista alleelipareista syntyy neljänlaisia sukusoluja



Vastinkromosomien vapaa järjestäytyminen meioosin vähennysjaossa.

TEKIJÄINVAIHDUNTA ELI CROSSING OVER

■ Kromosomeissa tapahtuva vastinkromosomien välinen tekijäinvaihdunta eli crossing over on hyvin yleistä. On arvioitu, että ihmisellä tapahtuu jokaisessa meioosissa yhdestä kahteen tekijäinvaihduntaa kunkin vastinkromosomiparin välillä. Samassa kromosomissa olevat alleelit periytyvät yleensä yhdessä. Tekijäinvaihdunnassa samassakin kromosomissa olevat alleelit voivat kuitenkin vaihtaa paikkaa keskenään vastinkromosomien välillä. Kun kahdentuneet vastinkromosomit asettuvat rinnakkain meioosissa, niiden sisarkromatidit menevät usein ristikkäin, ja syntyy kiasmoja. Vastinkromosomit vaihtavat tällöin osia keskenään, ja näissä osissa olevat alleelit siirtyvät vastinkromosomista toiseen. Tämä johtaa perimältään uudenlaisten sukusolujen syntyyn. ■



- ① Jos kahden geenin lokukset ovat samassa kromosomissa, geenien sanotaan olevan kytkettyneitä. Kytkeytyneiden geenien suhteen heterotsygoottinen yksilö voi tuottaa normaalisti vain kahdenlaisia sukusoluja, koska samassa kromosomissa olevat alleelit periytyvät yhdessä.
- ② Tekijäinvaihdunta eli crossing over voi kuitenkin purkaa tämän kytköksen. Näin syntyy neljänlaisia sukusoluja aivan kuten geenien lokusten ollessa eri kromosomeissa. Alleelien lukusuhteet ovat vain erilaisia. Kytköksen purkautumista voidaan tutkia testiristeytyksen avulla.



Tomaatilla hedelmän väriin ja pituuskasvuun vaikuttavat geenien lokukset sijaitsevat samassa kromosomissa. Punainen väri (K) dominoi keltaista (k) ja pitkäkasvuisuus (L) lyhytkasvuisuutta (l). Normaalisti F_1 -polven yksilöt tuottavat näiden ominaisuuksien suhteen vain kahdenlaisia sukusoluja LK ja lk, koska väriin ja pituuteen vaikuttavat geenit sijaitsevat samassa kromosomissa. Meioosissa alleelit voivat kuitenkin aina toisinaan vaihtaa paikkoja keskenään, jolloin pieneen määrään sukusoluja syntyy uusia alleeliyhdistelmiä Lk ja lK. Koska näitä sukusoluja syntyy vain sattumanvaraisesti, syntyy myös vanhemmista poikkeavia jälkeläisiä (keltahedelmäisiä pitkäkasvuisia ja punahedelmäisiä lyhytkasvuisia) huomattavasti vähemmän kuin vanhempien kaltaisia jälkeläisiä.

Geneettinen rekombinaatio on tärkeää evoluutiolle

Geneettisen rekombinaation seurauksena suvullisesti lisääntyvien eliölajien yksilöt ovat erilaisia sekä perimältään että ilmiänsuultaan. Populaatiossa esiintyy samoista geeneistä erilaisia alleleita, ja niiden lukemattomat yhdistelmät aikaansaavat yksilöiden välistä perinnöllistä muuntelua. Vaikka rekombinaatiossa järjestellään jo olemassa olevia alleleja uudelleen ja vasta mutaatioiden seurauksena syntyy uusia alleleita, geneettinen rekombinaatio on evoluutiossa tärkeä tekijä.

Yksilöiden erilaisuus mahdollistaa populaation sopeutumisen ja muuttumisen. Ne yksilöt, joilla on parhaat alleeliyhdistelmät, saavat keskimäärin muita enemmän jälkeläisiä vallitsevissa ympäristöolosuhteissa. Näin tietyt alleelit yleistyvät ja toiset harvinaistuvat. Populaatio siis sopeutuu elottomaan ja elolliseen ympäristöön perimänsä avulla.

Kun ympäristössä tapahtuu nopeita muutoksia, tai kun populaatio levittäytyy uusille asuinalueille, aikaisemmin parhaat ominaisuudet tai ominaisuusyhdistelmät eivät olekaan välttämättä kilpailukykyisimpiä. Uusia, sopeutumista parantavia mutaatioita syntyy harvoin. Rekombinaatio tuottaa kuitenkin jo olemassa olevista alleleista uusia yhdistelmiä ja mahdollistaa populaation säilymisen. Aikojen kuluessa pieni osa mutaatiosta tuottaa alleleita, jotka aiheuttavat uusia, hyödyllisiä ominaisuuksia. Ne parantavat populaation yksilöiden kelpoisuutta, ja populaatiossa tapahtuu pysyviä muutoksia. Esimerkiksi saimaannorpalle on kehittynyt pidemmät viikset kuin Itämeren sukulaiselleen, koska se on sopeutunut saalistamaan pimeässä jään alla. Pitkällä aikavälillä mutaatiot voivat johtaa uusien eliölajien syntyyn.

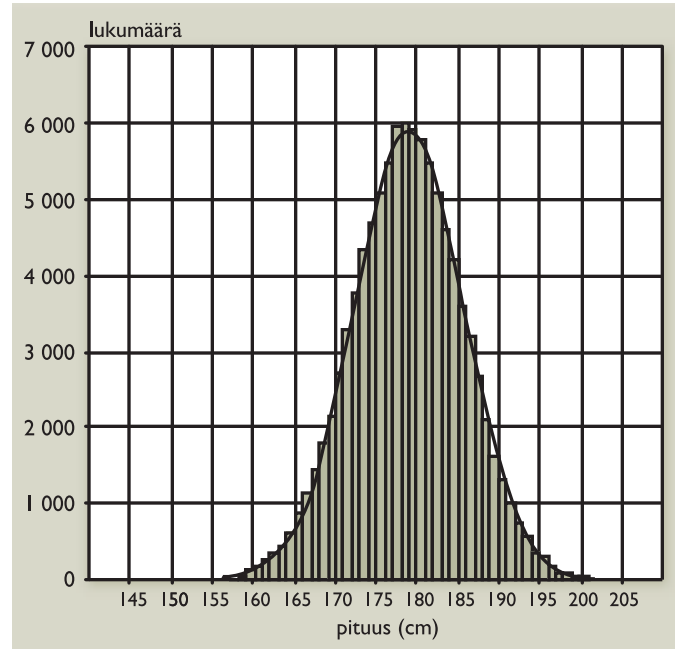


Geneettinen rekombinaatio näkyy hyvin kesykyhyhkyjen populaatiossa. Parvesta on vaikea löytää kahta täysin samanlaista yksilöä.

Määrällisiin ominaisuuksiin vaikuttaa monta geeniä

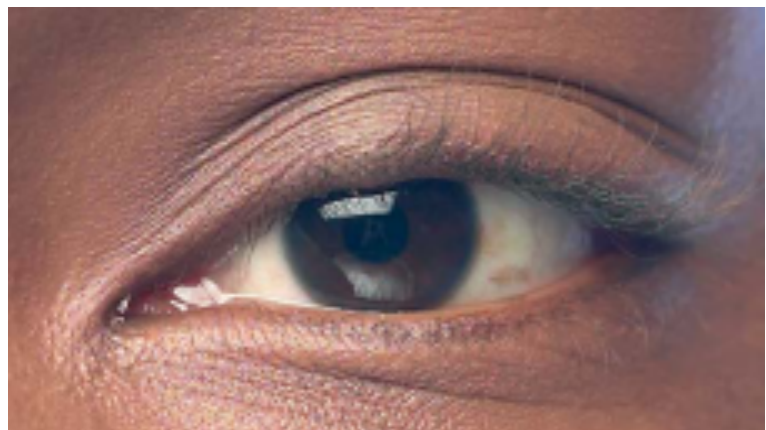
Ihmisen veriryhmän tai hiiren karvan värin määrää vain yksi alleelipari. Nämä ominaisuudet muodostavat selvästi toisistaan erottuvia tyyppejä, eli ne ovat lähinnä laadullisia. On olemassa kuitenkin koko joukko ominaisuuksia, joista tavataan liukuva sarja erilaisia välimuotoja, esimerkiksi ihmisen pituus tai ihonväri. Tämänkaltaisia ominaisuuksia kutsutaan määrällisiksi, ja niiden ilmenemistä ohjaavat useat eri lokuksissa sijaitsevat geenit. Tällaisia geenejä kutsutaan polygeeneiksi.

Polygeenisissä ominaisuuksissa alleeliparien vaikutus on yleensä summautuvaa, eli jokainen alleeli vaikuttaa osaltaan yksilössä ilmenevään ominaisuuteen. Ihmisen ihonväri perustuu monen alleeliparin yhteisvaikutukseen. Nämä alleelit vaikuttavat siihen, kuinka aktiivisesti ihon melanosyytit eli pigmenttiä tuottavat solut toimivat. Jos esimerkiksi ihonväritään lähes musta afrikkalainen mies saa lapsia hyvin vaalea-ihaisen pohjoismaalaisen naisen kanssa, ovat heidän lapsensa ihonväritään lähinnä vaaleanruskeita. Tämä johtuu siitä, että he ovat perineet isältään pigment-



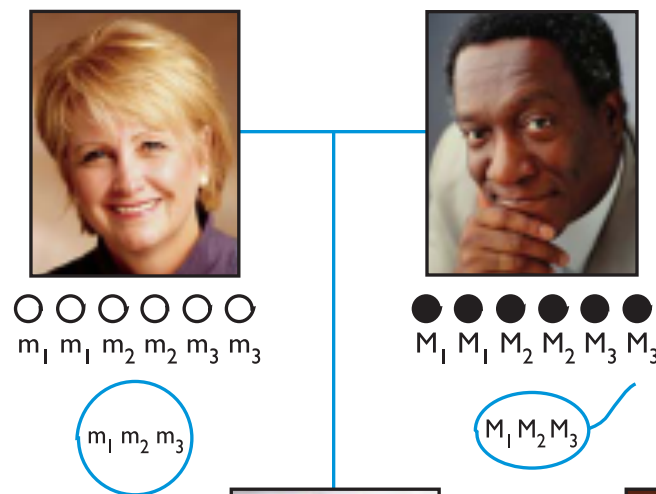
Suomalaisten miesten pituuden jakauma. Keskiarvotyyppijä (noin 179 cm) on kaikkein eniten. Määrällisten ominaisuuksien mittalukujen jakauma lähenee symmetristä normaalijakauman kuvaajaa, mikäli mittausaineisto on riittävän suuri. Tässä tapauksessa kyseessä on 100 000 miehen aineisto.

tiä lisäävät alleelit, kun taas äidiltä perityt alleelit eivät lisää ihonväriä. Vaaleanruskeaihoiset ihmiset sen sijaan voivat saada keskenään hyvinkin tummia ja vaaleita jälkeläisiä, vaikka suurin osa heidän lapsistaan muistuttaakin tältä ominaisuudeltaan keskimäärin vanhempiaan.

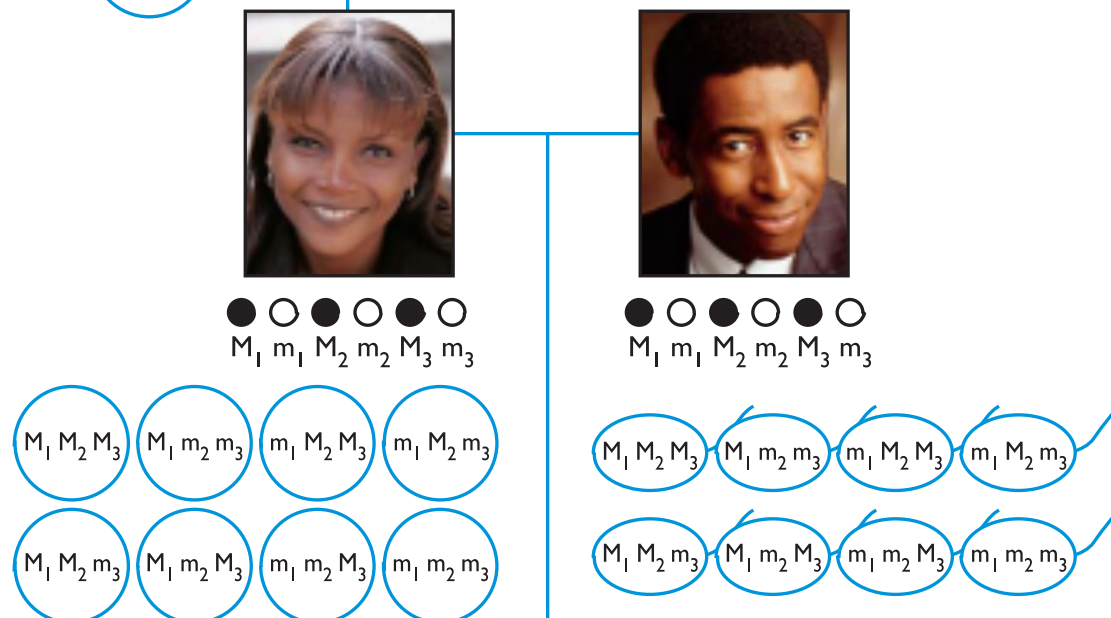


Ihmisen silmän värin periytymistä ohjaa vähintään kolme alleeliparia.

P

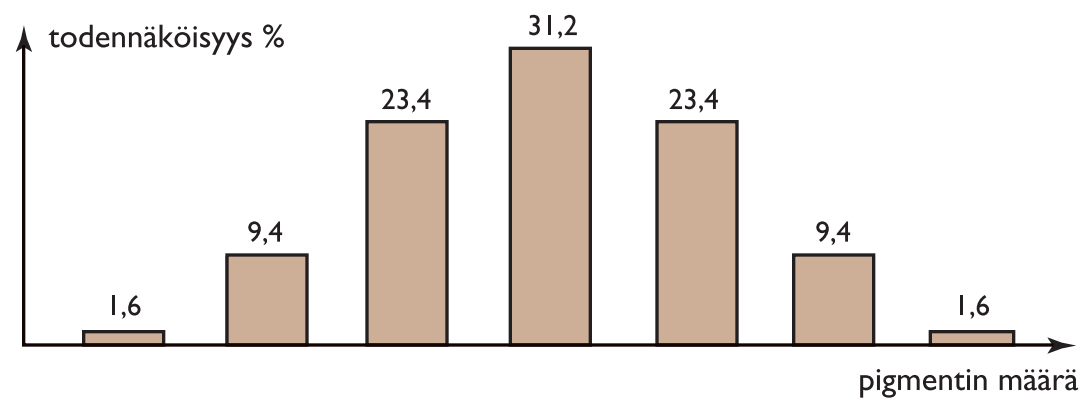
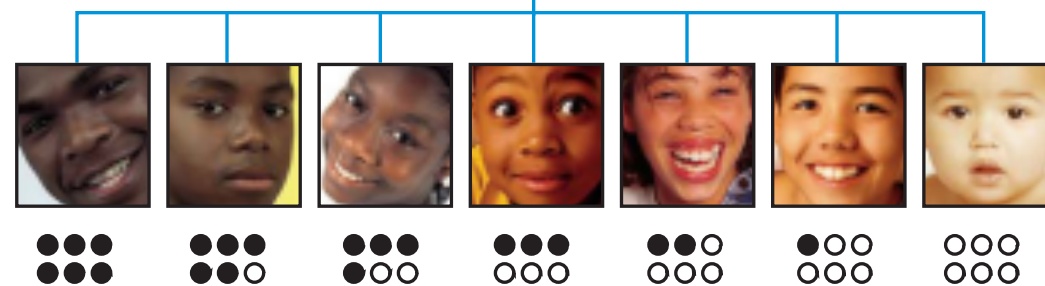


F₁



erilaiset
suku-
solut

F₂



M₁, M₂, M₃: ihon pigmenttiä lisäävät alleelit

m₁, m₂, m₃: alleelit, jotka eivät lisää ihon pigmentin määrää

Ihon värin polygeeninen periytyminen yksinkertaistettuna.

Geenien välinen vuorovaikutus ja ympäristö vaikuttavat ominaisuuksien ilmenemiseen

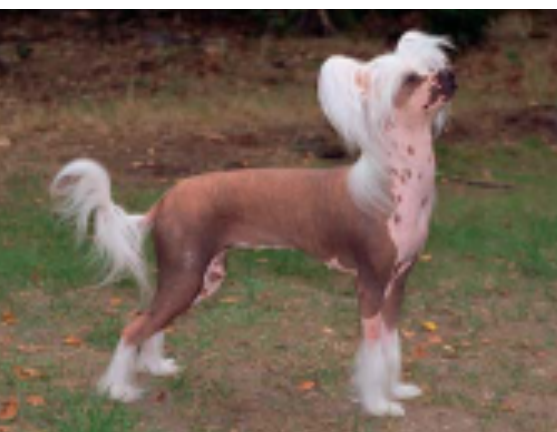
Ihmisellä on noin 20 000 geeniä, ja hiirellä niitä on suurin piirtein sama määrä. Ihminen ja hiiri poikkeavat toisistaan monin tavoin, mutta kuitenkin noin 90 %:lle tämän pienen jyrsijän geneista löytyy vastine ihmisen perimästä. Mikä selittää tämän? Identtisillä kaksosilla on täysin sama genotyyppi, mutta tästä huolimatta he poikkeavat toisistaan monin tavoin. Miksi?

Geenit toimivat yhdessä ja säätelevät toinen toisiaan

Jokaisella yksilöllä on lukuisia geenejä, jotka vaikuttavat perittyihin ominaisuuksiin. Suurin osa geneista on rakennegeenejä, jotka sisältävät yhden entsyymin rakennusohjeen. Entsyymit puolestaan saavat aikaan muutoksia solujen aineenvaihdunnassa, mikä johtaa tiettyyn ominaisuuteen kuten karvan väriin. Useimmat solujen aineenvaihduntareaktiot muodostavat pitkiä reaktiosarjoja, ja jokaista vaihetta ohjaa oma entsyyminsä. Lopullinen tuote muodostuu siis pala

palalta, ja tähän rakennustyöhön tarvitaan monia rakennegeenejä.

Geenien toiminta ei kuitenkaan ole aina näin suoraviivaista. Joidenkin geenien tehtävänä on säädellä toisten geenien toimintaa. Ne joko aktivoivat tai passivoivat rakennegeenejä. Näitä geenejä voidaan ajatella arkkitehteina, jotka antavat piirustukset ja ohjeet työläisille, rakennegeeneille.



Koiran väri määräytyy kahden väriaineen, mustan (eumelaniini) ja keltaisen (feomelaniini), perusteella. Värikokonaisuus, jonka näemme koiralla, riippuu värisolujen määrästä, niiden väriaineen tuotannon tehokkuudesta sekä väriaineen kulkeutumisesta ruumiin eri osiin. Myös karvan pituus ja laatu sekä pohjavillan väri vaikuttavat osaltaan siihen, minkä väriseltä koira näyttää. Lopullisen värin muodostumista ohjaa toistakymmentä geeniä. Useimmista geneista esiintyy erilaisia alleeleja, joiden yhdistelmistä koirien jalostajat ovat kehittäneet lukuisia värimuotoja.

■ Eräitä mullistavimmista viime vuosisadan genetiikan löydöistä olivat Edward Lewisin banaanikärpäseltä havaitsemat niin kutsutut homeoottiset geenit, joita voidaan kutsua isäntägeeneiksi. Nämä geenit ohjaavat eläimillä kokonaisten rakenteiden kehitystä säätelemällä yksilönkehityksen aikana muiden geenien toimintaa. Mullistavaksi homeoottisten geenien keksimisen teki se, että samat geenit löytyvät myös ihmiseltä. Näissä geeneissä tapahtuvat mutaatiot selittävät myös, miten lajien rakenteet voivat muuttua hyvinkin nopeasti evoluution kuluessa. Esimerkiksi raajan kehittyminen varsieväkalan evästä ihmisen kädeksi tai linnun siiveksi on pääasiassa seurausta mutaatiosta yhdessä homeoottisessa geenissä.

Homeoottiset geenit antavat soluille niiden identiteetin eli viestin siitä, minkä rakenteen mitään osaa niiden on tarkoitus muodostaa alkionkehityksen aikana. Toisten geenien toimintaa ohjaavia geenejä voidaan ajatella arkkitehteina ja rakennusmestareina, jotka antavat ohjeita rakennuksella työskenteleville työläisille eli tavallisille rakennegeeneille. Ihmisellä ja hiirellä näitä homeoottisia geenejä on löytynyt 39 kappaletta. Niiden yhteistyö poikkeaa kuitenkin hiukan toisistaan, ja tämä selittää osaltaan, miksi emme ole hiiriä. ■



Edward Lewis



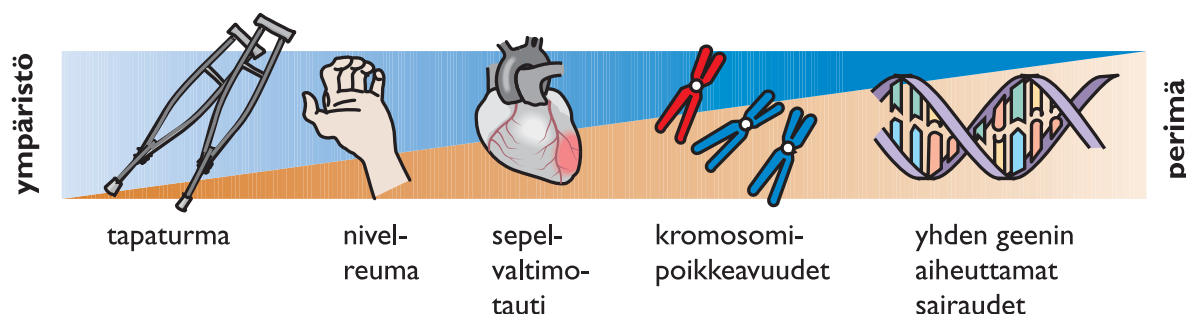
Homeoottiset geenit säätelevät esimerkiksi sitä, mihin ruumiinosaan raajat kehittyvät banaanikärpäsellä. Tutkijat ovat aiheuttaneet mutaation yhdessä näistä muiden geenien toimintaa ohjaavista geeneistä. Sen seurauksena banaanikärpäsen raajat kasvavat tuntosarvien paikalle (oik.). Ihmisellä mutaatiot homeoottisissa geeneissä aiheuttavat vakavia epämuodostumia ja johtavat tavallisesti keskenmenoon.



Ympäristö säätelee monien geenien toimintaa

Geenit eivät toimi irrallaan ympäristöstään, vaan ne reagoivat moniin solun ulko- ja sisäpuolelta tuleviin viesteihin. Useat hormonit, kasvutekijät, lämpötila ja aineiden pitoisuuden muutokset voivat aktivoida jonkin geenin toimimaan. Esimerkiksi kun veren glukosipitoisuus kohoaa nisäkkäillä, haiman solujen insuliinin tuotantoa ohjaava geeni aktivoituu ja solu alkaa tuottaa insuliinia. Tämän hormonin vaikutuksesta veren sokeripitoisuus laskee. Kaikilla monisoluisilla eliöillä monimutkainen viestinvälitysverkosto aktivoi tarvittavia geenejä ja auttaa eliötä sopeutumaan aineenvaihduntansa avulla ympäristöönsä.

Geenien vaikutusta sairauksiin on tutkittu paljon, ja ihmiseltä on löydetty tähän mennessä yhden geenin aiheuttamia perinnöllisiä sairauksia noin 5 000. Näissä tapauksissa mutaation muuttama alleeli tai alleelipari aiheuttaa yksin tämän ominaisuuden. Suurin osa sairauksista syntyy kuitenkin perintötekijöiden ja ympäristötekijöiden yhteisvaikutuksen tuloksena, minkä johdosta niitä kutsutaan monitekijäisesti periytyviksi sairauksiksi. Tällaisia sairauksia ovat esimerkiksi verenpainetauti ja aikuisiän diabetes, joissa tietyt geenit lisäävät alttiutta sairastua, mutta vasta elämäntavat laukaisevat sairauden tai ovat laukaisematta sitä. Myös lukuisiin ihmisen normaaleihin fyysisiin ja henkisiin ominaisuuksiin vaikuttavat sekä geenit että ympäristö.



Geenien ja ympäristötekijöiden vaikutus vaihtelee eri sairauksissa.

Perinnöllisyystiede auttaa ymmärtämään evoluutiota

Charles Darwinin vuonna 1859 esittämä evoluutio-teoria on biologian keskeisimpiä teorioita. Darwin päätteli havaintojensa perusteella, että uusien lajien syntyminen perustuu luonnonvalintaan. Teorian keskeisiä kohtia ovat yksilöiden valtava lisääntymiskyky ja muuntelu. Kun käytettävissä olevat resurssit ovat rajalliset, yksilöt joutuvat kilpailemaan ankarasti olemassaolostaan. Kilpailussa menestyvät sellaiset yksilöt, jotka ovat sopeutuneet ympäristöönsä parhaiten ja jotka kykenevät tuottamaan eniten jälkeläisiä. Koska monet kelpoisuutta lisäävät ominaisuudet ovat periytyviä, ne yleistyvät seuraavassa sukupolvessa. Tällä tavalla laji kehittyy sukupolvesta toiseen. Vaihtelevat olosuhteet ovat eri aikoina ja eri paikoissa joltaneet pitkän ajan kuluessa erilaisiin, aikaisemmista poikkeaviin lajeihin.

Vaikka Darwin havaitsi, että ominaisuudet periytyvät vanhemmilta jälkeläisille, hän ei ymmärtänyt periytymismekanismeja. Geeni, muuntelua aiheuttava geneettinen rekombinaatio ja mutaatiot olivat hänelle tuntemattomia käsitteitä. Niinpä Darwinin teoria painotti nykykäsityksen mukaan liikaa yksilöiden välistä olemassaolon taistelua ja parhaiten sopeutuneiden yksilöiden eloonjäämistä.

Nykyinen evoluutiokäsitys perustuu populaatiogenetiikkaan

Evoluutiokäsitys alkoi tarkentua perinnöllisyystieteen tutkimuksen ja tiedon lisääntyä. Luonnonvalinta sai vahvaa tukea Mendelin laeista, joiden merkitys ymmärrettiin vasta Darwinin kuoleman jälkeen.

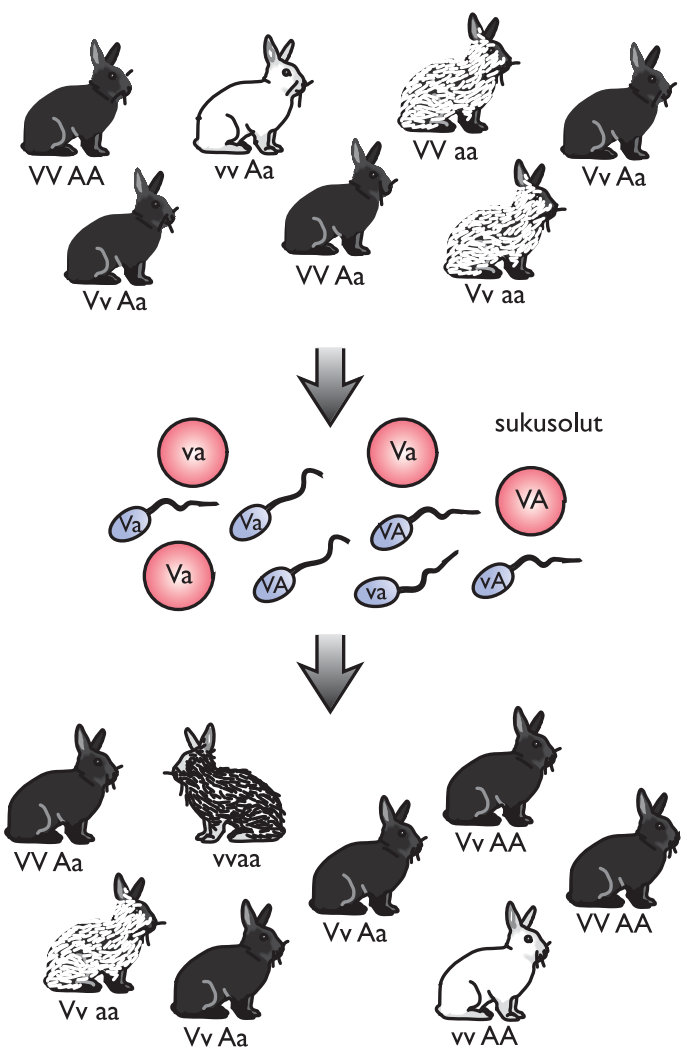
Myös ekologian, etologian, paleontologian ja monien muiden luonnontieteiden tuottama tieto muovasi käsitystä lajien kehityksestä. Nykyinen evoluutioteoria perustuukin monien tieteenalojen tutkimukseen ja on saanut sen vuoksi nimekseen synteettinen evoluutioteoria.

Synteettisen evoluutioteorian perustana on populaatio ja siinä tapahtuvat muutokset. Populaatio ymmärretään suureksi geenivarastoksi, jossa geeneistä syntyy mutaatioiden tuloksena uusia alleleita. Suvullisessa lisääntymisessä alleelit järjestyvät uudelleen, mikä ilmenee muunteluna populaation yksilöiden välillä. Muuntelu perustuu meioosin aikana tapahtuvaan sattumanvaraiseen geneettiseen rekombinaatioon. Mutaatiot puolestaan tuottavat uusia alleleita tai muuttavat muuten populaation yksilöiden perimää.

Populaation geneettinen monimuotoisuus ilmenee yksilöiden erilaisissa rakenteissa, elintoinnoissa ja käyttäytymisessä. Perinnöllisyystieteen näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että populaatiossa esiintyy erilaisia alleeliyhdistelmiä (genotyyppejä), jotka vaikuttavat yksilöiden fenotyyppiin. Monista geeneistä esiintyy multippeleita alleleita, jotka aiheuttavat erilaisina yhdistelminä fenotyyppien muuntelua. Suuri osa ominaisuuksista on lisäksi monien geenien yhteistyön tulosta, joten populaatiossa on jokaisesta ominaisuudesta monenlaisia piirteitä.

Populaation geneettinen koostumus muuttuu mikroevoluutiossa

Populaation alleelikoostumus pysyisi lähes muuttumattomana, mikäli sen kaikki yksilöt pariutuisivat sattumanvaraisesti keskenään, eläisivät täysin eristyksissä muista saman lajin populaatioista ja kykenisivät tuottamaan saman määrän lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Ainoastaan mutaatiot toisivat geenivarastoon uusia alleleita, ja nämä jäisivät hyvin harvinaisiksi. Luonnossa populaatiot kuitenkin muuttuvat. Luonnonvalinnan vaikutuksesta ympäristöolosuhteisiin parhaiten sopeutuneet yksilöt saavat enemmän lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä kuin huonommin sopeutuneet yksilöt. Tämän takia sopeutumista parantavat alleelit tai alleeliyhdistelmät ja niiden aiheuttamat ominaisuudet yleistyvät populaation yksilöiden keskuudessa. Jos mutaation seurauksena syntyy alleeli, joka lisää yksilön



Populaatiota voidaan tarkastella suurena geenivarastona. Jokainen populaation yksilö tuottaa haploidisia sukusoluja, joissa esiintyy kustakin alleeliparista vain toinen alleeli. Eri kromosomeissa sijaitsevien geenien alleleista tulee sukusoluihin sattumanvaraisesti kaikkia mahdollisia alleeliyhdistelmiä. Kun sukusolujen tumat yhtyvät hedelmöityksessä, syntyy uusi diploidinen sukupolvi. Alleelien sattumanvarainen pariutuminen aiheuttaa uuden sukupolven yksilöiden erilaisuuden.

kelpoisuutta, se alkaa luonnonvalinnan seurauksena yleistyä. Tätä populaation alleelien keskinäisten luku-suhteiden muutosta kutsutaan mikroevoluutioksi.

Mikroevoluution lähtökohtana ovat siis sattumanvaraisesti syntyneet mutaatiot, joita luonnonvalinta karsii tai suosii. Osa mutaatioista on kuitenkin luonnonvalinnan kannalta neutraaleja eli niiden määrä suuressa populaatiossa pysyy samana, koska ne eivät lisää tai vähennä yksilöiden kelpoisuutta. Populaatio voi saada uusia alleleita myös saman lajin muista populaatioista esimerkiksi kasveilla siitepölyn ja eläimillä muuttavien yksilöiden mukana.

Pienissä populaatioissa sattumalla on suuri vaikutus alleelien esiintymistiheyteen. Jos populaation yksilömäärä supistuu hyvin pieneksi esimerkiksi jon-

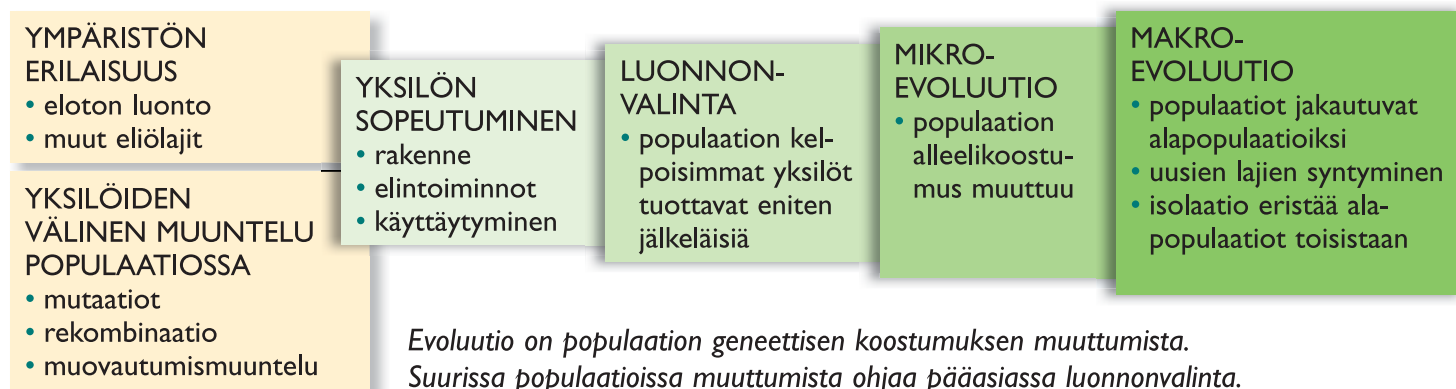
kin luonnonkatastrofin seurauksena, yleistyvät jäljelle jääneiden yksilöiden kantamat alleelit populaation uudelleen kasvaessa. Tällaisessa tilanteessa myös ”keskinkertaiset alleelit” pääsevät yleistymään parempien puutteessa.

Makroevoluutiossa populaatioista syntyy uusia lajeja

Makroevoluutiossa populaatio jakautuu kahdeksi tai useammaksi alapopulaatioksi. Mikäli geenivirta näiden alapopulaatioiden välillä katkeaa, se johtaa vähitellen uusien lajien syntyyn. Alapopulaation kehitystä ohjaavat valinta, sattumanvaraisesti syntyvät mutaatiot ja muuntelu eli samat mekanismit kuin mikroevoluutiossa. Koska alapopulaatioiden elinolot poikkeavat väistämättä ainakin jossain määrin toisistaan, luonnonvalinta ei suosi samoja alleeliyhdistelmiä eri populaatioissa.

Myös sattuma vaikuttaa populaatioiden kehittymiseen erilaisiksi, erityisesti, jos alapopulaation perustaa vain pieni joukko kantalajin yksilöitä.

Isolaatio on siis välttämätöntä, jotta kantalajista voi syntyä uusia lajeja. Isolaatio voi olla maantieteellistä. Valtameret, vuoristot ja aavikot katkaisevat tehokkaasti geenien vaihdon kahden alapopulaation väliltä, jolloin kummankin yksilöt kehittyvät vähitellen monin tavoin erilaisiksi. Monet ekologiset ja elintoimintoihin liittyvät tekijät voivat erottaa samalakin alueella elävät alapopulaatiot toisistaan. Joidenkin yksilöiden elinympäristö ja elintavat voivat olla niin erilaiset, että ne eivät kohtaa populaation muita yksilöitä. Esimerkiksi taimenesta tavataan kolme ekologista rotua, meri-, järvi- ja purotaimen, jotka voivat elää osan elämästään samassa joessa, mutta eivät juurikaan lisäännä keskenään. Ne poikkeavat toisistaan myös rakenteeltaan ja käyttäytymiseltään.



TAUSTATIETOA

KAIKKI LAJIT EIVÄT NÄYTÄ KEHITTYNEEN JATKUVIEN JA ASTEITTAISTEN MUUTOSTEN SEURAUKSEANA

■ Makroevoluutio selittää, miten uudet lajit syntyvät asteittaisen sopeutumisen ja luonnonvalinnan tuloksena. Eräiden lajien kohdalla fossiilisarjat eivät kuitenkaan näytä tukevan tällaista jatkuvaa, vähittäistä muuttumista. Tätä on selitetty sillä, että hyvin menestyksellä laji voi saavuttaa paikallaan pysyvän vaiheen evoluutiossaan ja pysyä lähes muuttumattomana jopa miljoonia vuosia. Esimerkiksi siilin muinaiset esi-isät muistuttavat hyvin paljon nykyään eläviä siililajeja. Toinen syy välimuotoisten fossiilien puuttumiseen voi olla yksinkertaisesti se, että niitä on hyvin vaikea löytää, jos perustajapopulaatio on ollut aikoinaan hyvin pieni.

Joskus evoluutio näyttäisi tuottavan nopeasti eliökuntaan jopa uusia sukuja, lahkoja, luokkia ja pääjaksoja. Tällöin puhutaan megaevoluutiosta. Sen lainalaisuudet ovat toistaiseksi epäselvät, mutta mutaatiot säätelygeeneissä voivat osaltaan tehdä ymmärrettäväksi nämä harppauksenomaiset kehitysaskleet. Esimerkiksi selkäjänteiden kehittymisen arvellaan alkaneen 520 miljoonaa vuotta sitten, kun kokonainen sarja homeoottisia geenejä monistui. Homeoottisten geenien ohjaama yksilönkehitys muuttui suuresti ja mutaation perinnettä yksilöistä tuli rakenteeltaan suuresti vanhemmistaan poikkeavia. Kaikki nykyiset selkäjänteiden pääjaksoon kuuluvat lajit ovat todennäköisesti tämän uuden rakennekaavan erilaisia muunnelmia. ■

TEHTÄVÄT

1. Sukusolut

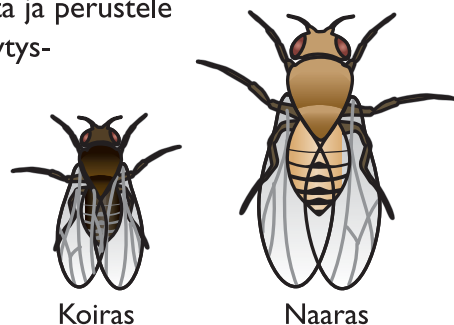
Minkälaisia sukusoluja syntyy yksilöllä

- jonka genotyyppi on kahden ominaisuuden suhteen AaBb, ja nämä geenit sijaitsevat eri kromosomeissa tai
- jonka genotyyppi on kolmen ominaisuuden suhteen AaBbCc, ja nämä geenit ovat eri kromosomeissa?

2. Banaanikärpäset

Banaanikärpäsellä vaaleanruskea väri ja normaalikoko ovat dominoivia (vallitsevia) ominaisuuksia. Musta väri ja kääpiökoko ovat puolestaan resessiivisiä (väistyviä) ominaisuuksia.

Minkälaisia jälkeläisiä syntyy ja missä lukusuhteissa, kun risteytetään musta kääpiökoiras vaaleanruskean normaalikokoisen naaraan kanssa? Naaras on heterotsygoottinen (eriperintäinen) molempien ominaisuuksien suhteen. Ominaisuuksia aiheuttavat geenit eivät ole kytkeytyneitä (geenien lokukset sijaitsevat eri kromosomeissa). Valitse sopivat kirjaimet kuvaamaan eri alleeleita ja perustele vastauksesi risteytystaulukon avulla.



3. Herneen ominaisuudet

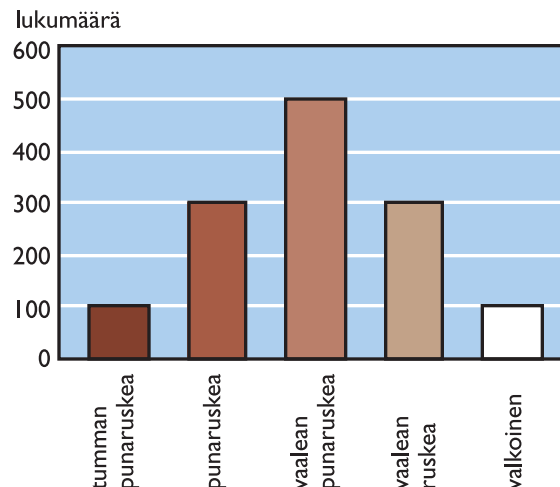
Herneen siemenvalkuaisen keltainen väri johtuu dominoivasta alleelistä ja vihreä väri resessiivisestä alleelistä. Sileä kuori on vallitseva ominaisuus ja kurttuinen kuori resessiivinen. Minkälaisia jälkeläisiä syntyy vanhempien Vvkk ja vvKk risteytyksessä? Perustele vastaus, esitä tulos risteytyskaaviolla ja ilmoita saadut lukusuhteet.

4. Risteytyskoe

Rotilla normaali harmaanruskea turkin väri (agouti) on dominoiva ominaisuus, ja musta väri resessiivinen. Myös punasilmäisyys on resessiivinen ominaisuus. Miten on mahdollista, että kaksi harmaanruskeaa ja silmien väritään normaalia rottaa saa yhden mustan, punasilmäisen sekä yhden mustan silmänväritään normaalin poikasen? Muut neljä poikasta ovat kyseisiltä ominaisuuksiltaan vanhempiensa kaltaisia. Onko tapaus harvinainen? Perustele vastauksesi risteytyskaavion avulla.

5. Vehnän siementen värijakauma

Oheinen diagrammi kuvaa vehnän siementen värijakaumaa eräällä koeviljelmällä. Siementen väri periytyy polygeenisesti ja väriin vaikuttaa kaksi geeniä. Minkälaisia emoyksilöiden genotyyppien pitää olla, jotta jälkeläisten siementen värijakauma olisi diagrammin kaltainen? Perustele väittämäsi risteytyskaavion avulla.



6. Banaanikärpäsen kaksi mutanttialleelia

Banaanikärpäsellä on mutaatio (white), joka ilmenee silmien valkoisena värinä. Geenin lokus sijaitsee X-kromosomissa. Toinen tunnettu ja paljon tutkimuksessa käytetty mutaatio on tynkäsiipisyys (vestigial). Tämän geenin lokus sijaitsee autosomissa. Molemmat mutaatiot ovat resessiivisiä.

- Jos risteytetään valkosilmäinen naaras (siiviltään normaali homotsygoottinen) tynkäsiipisen koiraan kanssa (silmitään normaali homotsygoottinen), syntyy kahdenlaisia jälkeläisiä. Mitkä ovat jälkeläisten geno- ja fenotyytit?
- Jos nämä kahdenlaiset jälkeläiset risteytetään keskenään, missä lukusuhteessa syntyy punasilmäisiä ja valkosilmäisiä yksilöitä? Entä tynkäsiipisiä suhteessa pitkäsiipisiin? Kuinka suuri osa jälkeläisistä ilmentää näitä molempia ominaisuuksia?

7. Siperianhuskyn harvinaisemmat värimuodot

Siperianhuskyn väri määräytyy kahden väriaineen perusteella. Lopulliseen väriin vaikuttaa kuitenkin useita geneja. Koiran tummuutta säätelee yksi alleelipari siten, että dominoiva alleeli R aiheuttaa mustan värin ja resessiivinen r ruskean värin. Värin jakautumiseen vaikuttaa puolestaan toisessa kromosomissa sijaitseva geeni. Yksivärisyyden aiheuttaa dominoiva alleeli S, säännölliset valkoiset alueet

(”irish”-kuviointi) muodostuu alleelin s^i ja valkoisella pohjalla epäsäännöllinen kuviointi (”piebald”-kuviointi) syntyy s^p -alleelin vaikutuksesta, joka on resessiivinen edellisiin nähden.

- Koiranomistajalla oli ”irish”-kuvioinen musta narttu, jonka isä on ruskea ”irish” ja emä musta ”piebald”. Mitkä ovat nartun ja sen vanhempien mahdolliset genotyypit?
- Minkälaisella uroksella omistajan kannattaisi astuttaa tämä musta ”irish”-narttunsa, jotta pentueessa olisi mahdollisimman paljon ruskeita ”piebald”-jälkeläisiä? Mikä on todennäköisyys saada tämänkaltaisia pentuja? Perustele vastauksesi risteytystaulukon avulla.
- Omistajan kennelissä on tarjolla musta yksivärinen huskyuros. Minkälainen pitäisi sen genotyypin olla, jotta sitä voisi käyttää ruskeiden ”piebald”-kuvioisten pentujen tuottamiseen saman mustan ”irish”-nartun kanssa? Mikä olisi tässä tapauksessa haluttujen pentujen syntymisen todennäköisyys?



8. Hevosen värin periytymisen selvittäminen voi olla haasteellista

Hevosen väri määräytyy kahden väriaineen, punaisen ja mustan, perusteella. Väriainetta erittyy sekä ihoon, karvaan että jouhiin (harja ja häntä). Hevosista tavataan lukuisia värejä koska yli kymmenen geeniiä vaikuttaa siihen, miten näitä pigmenttejä eritetään, missä osissa niitä eritetään ja miten ne haalistuvat iän myötä.

Väritään hyvin yleisiä hevosia ovat ruunikot ja kimot. Grey-tyypin kimo syntyy muun värisenä, mutta se muuttuu harmaan kautta lähes valkoiseksi iän myötä, koska sillä tavataan dominoiva G-alleeli. Saman lokuksen resessiivisen g-alleelin vaikutuksesta hevonen säilyttää perusvärinsä. E-alleeli tuottaa mustaa väriainetta karvaan, jouhiin ja ihoon, mutta resessiivinen e-alleeli ainoastaan ihoon, jolloin punainen karva yhdessä tumman ihon kanssa saa hevosen näyttämään ruskealta (rautias). Kolmas geeni määrää puolestaan, erittykö musta väriaine hevosilla, joilla on E-alleeli, ainostaan ihoon, jouhiin ja alaraajoihin (A-alleeli, ruunikko) vai niiden lisäksi myös karvaan (a-alleeli, musta).

- Mitkä ovat kuvan ruunikon mahdolliset genotyypit?
- Mikäli kuvan kimo on genotyyppiä GgEeAa ja sen isä oli musta ori, niin minkä värinen oli emä? Mitkä olivat isän mahdolliset genotyypit?
- Voivatko kuvan rautiaan isä ja emä olla harmaita? Perustele väittämäsi risteytystaulukon avulla.



kimo



ruunikko



rautias



musta

9. Ole kriittinen mediaa kohtaan!

Lehdissä julkaistaan usein uutisia uusien geenien löytymisestä. 1900-luvun lopulla ilmoitettiin suurin otsikoin, että vanhenemisen geeni on löytynyt. Miksi tämänkaltaiseen uutiseen on syytä suhtautua varauksella?

Mendelistisessä rekombinaatiossa eri kromosomissa sijaitsevien geenien alleleista tulee sukusoluihin sattumanvaraisesti kaikkia alleeliyhdistelmiä. $AaBb \rightarrow AB, Ab, aB, ab$.

Dihybridiristeytyksessä tutkitaan kahden ominaisuuden periytymistä ja sitä, minkälaisia ominaisuusyhdistelmiä niistä voi syntyä.

Testiristeytyksellä voidaan selvittää dominoivia ominaisuuksia ilmentävän yksilön genotyyppi:

Jos $AaBb \times aabb \rightarrow$ fenotyybiltään neljänlaisia jälkeläisiä.

Jos $AABB \times aabb \rightarrow$ fenotyybiltään yhdenlaisia jälkeläisiä.

Jos $AABb \times aabb \rightarrow$ fenotyybiltään kahdenlaisia jälkeläisiä.

Jos $AaBB \times aabb \rightarrow$ fenotyybiltään kahdenlaisia jälkeläisiä.

Tekijäinvaihdunta lisää rekombinaatiota ja sukusolujen erilaisuutta.

Rekombinaation seurauksena suvullisesti lisääntyvien eliölajien yksilöt ovat ainutkertaisia perimältään ja ilmiänsuultaan.

Polygeenit ovat geneejiä, jotka vaikuttavat samaan määrälliseen ominaisuuteen.

Polygeenisissä ominaisuuksissa jokainen yksittäinen polygeenin alleeli vaikuttaa summautuvasti tähän ominaisuuteen.

Geenien ilmenemiseen vaikuttaa usein myös ympäristö.

Evoluutio on populaation alleelivaraston muuttumista.

Mendelin lait

1. Sääntö jälkeläisten yhdenmukaisuudesta:

Kun risteytetään keskenään kaksi tietyn alleelin suhteen homotsygoottista yksilöä, kaikki F_1 -polven yksilöt ovat keskenään tämän ominaisuuden suhteen samanlaisia ja ilmentävät dominoivaa alleelia.

2. Erkanemissääntö:

Kun risteytetään keskenään kaksi tietyn geenin suhteen heterotsygoottista yksilöä jälkeläisissä ilmenevät molemmat ominaisuudet tietyissä lukusuhteissa.

3. Sääntö geenien vapaasta yhdistymisestä meioosissa:

Eri kromosomeissa sijaitsevien geenien alleleista tulee meioosissa sukusoluihin sattumanvaraisesti kaikkia mahdollisia yhdistelmiä.

Avainsanat

dihybridiristeytytys

geneettinen rekombinaatio

makroevoluutio

mendelistinen rekombinaatio

mikroevoluutio

monitekijäinen periytyminen

polygeenit

rakennegeeni

rekombinaatio

tekijäinvaihdunta eli crossing over

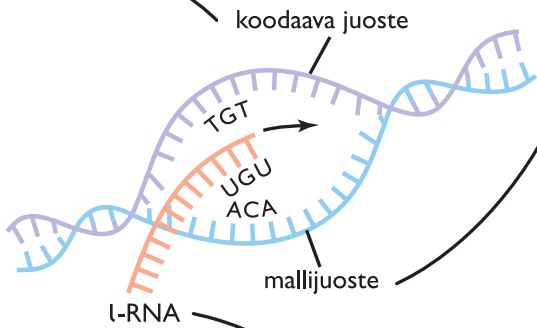
testiristeytytys

		keskimmäinen emäs				
		A	G	T	C	
alkava emäs	A	fenyylialaniini	seriini	tyrosiini	kysteiini	A
		fenyylialaniini	seriini	tyrosiini	kysteiini	G
		leusiini	seriini	lopetus	lopetus	T
		leusiini	seriini	lopetus	tryptofaani	C
	G	leusiini	proliini	histidiini	arginiini	A
		leusiini	proliini	histidiini	arginiini	G
		leusiini	proliini	glutamiini	arginiini	T
		leusiini	proliini	glutamiini	arginiini	C
	T	isoleusiini	treoniini	asparagiini	seriini	A
		isoleusiini	treoniini	asparagiini	seriini	G
		isoleusiini	treoniini	lysiini	arginiini	T
		metioniini	treoniini	lysiini	arginiini	C
	C	valiini	alaniini	asparagiinihappo	glysiini	A
		valiini	alaniini	asparagiinihappo	glysiini	G
		valiini	alaniini	glutamiinihappo	glysiini	T
		valiini	alaniini	glutamiinihappo	glysiini	C

DNA:n mallijuosteen emäskolmikkoja vastaavat aminohapot

		keskimmäinen emäs				
		T	C	A	G	
alkava emäs	T	fenyylialaniini	seriini	tyrosiini	kysteiini	T
		fenyylialaniini	seriini	tyrosiini	kysteiini	C
		leusiini	seriini	lopetus	lopetus	A
		leusiini	seriini	lopetus	tryptofaani	G
	C	leusiini	proliini	histidiini	arginiini	T
		leusiini	proliini	histidiini	arginiini	C
		leusiini	proliini	glutamiini	arginiini	A
		leusiini	proliini	glutamiini	arginiini	G
	A	isoleusiini	treoniini	asparagiini	seriini	T
		isoleusiini	treoniini	asparagiini	seriini	C
		isoleusiini	treoniini	lysiini	arginiini	A
		metioniini	treoniini	lysiini	arginiini	G
	G	valiini	alaniini	asparagiinihappo	glysiini	T
		valiini	alaniini	asparagiinihappo	glysiini	C
		valiini	alaniini	glutamiinihappo	glysiini	A
		valiini	alaniini	glutamiinihappo	glysiini	G

DNA:n koodaavan juosteen emäskolmikkoja vastaavat aminohapot



		keskimmäinen emäs				
		U	C	A	G	
alkava emäs	U	fenyylialaniini	seriini	tyrosiini	kysteiini	U
		fenyylialaniini	seriini	tyrosiini	kysteiini	C
		leusiini	seriini	lopetus	lopetus	A
		leusiini	seriini	lopetus	tryptofaani	G
	C	leusiini	proliini	histidiini	arginiini	U
		leusiini	proliini	histidiini	arginiini	C
		leusiini	proliini	glutamiini	arginiini	A
		leusiini	proliini	glutamiini	arginiini	G
	A	isoleusiini	treoniini	asparagiini	seriini	U
		isoleusiini	treoniini	asparagiini	seriini	C
		isoleusiini	treoniini	lysiini	arginiini	A
		metioniini	treoniini	lysiini	arginiini	G
	G	valiini	alaniini	asparagiinihappo	glysiini	U
		valiini	alaniini	asparagiinihappo	glysiini	C
		valiini	alaniini	glutamiinihappo	glysiini	A
		valiini	alaniini	glutamiinihappo	glysiini	G

Lähetti-RNA:n emäskolmikkoja vastaavat aminohapot

Käsitteet

A

absorptio, *absorption* 25
Imeytyminen, esimerkiksi valon imeytyminen kasvien lehtiin.

adenosiinifosfaatit, *adenosine phosphates* 20
Runsasenergiisiä yhdisteitä, joita käytetään soluissa energian siirtoon ja lyhytaikaiseen varastointiin. Adenosiinista (adeniiniemäs ja riboosisokeri) muodostuneita yhdisteitä, joihin on liittynyt yksi (AMP), kaksi (ADP) tai kolme (ATP) fosfaattiryhmää. Fosfaattiryhmien väliset sidokset ovat runsasenergiisiä. Energiaa vapautuu sidosten purkautuessa ja sitoutuu niiden muodostuessa.

ADP, adenosiinidifosfaatti, *adenosine diphosphate* 20
Ks. adenosiinifosfaatit.

aerobinen, *aerobic* 33
Happea tarvitseva reaktio, solu tai eliö. Aerobisessa soluhengityksessä energiaa vapautuu soluissa hapen läsnä ollessa.

aineenvaihdunta, *metabolism* 65
Eliöiden elintoimintoihin liittyvät solujen kemialliset reaktiot. Ks. anabolinen ja katabolinen reaktio.

aktiivinen kuljetus, *active transport* 46
Energiaa tarvitsevaa aineiden siirtämistä solukalvon läpi pienemmästä pitoisuudesta suurempaan pitoisuuteen.

alkeiseliot, *monerans* 11
Esitumallisia eliöitä (eliöiden soluissa ei ole tumaa), joihin kuuluvat arkit ja bakteerit.

alkoholikäyminen, *alcoholic fermentation* 34
Reaktio, jossa glukoosista syntyy etanolia, vettä ja hiilidioksidia sekä vapautuu vähäinen määrä energiaa.

alkuaine, *element* 13
Aine, jonka kaikilla atomeilla on sama järjestysluku, eli se muodostuu keskenään samanlaisista atomeista.

alkueliöt, *protists* 11
Aitotumallisia yksi- ja monisoluisia eliöitä, jotka muodostavat alkueliökunnan, johon kuuluvat limasienet ja levät sekä alkueläimet.

alkueläimet, *protozoans* 11
Yksisoluisia eläimiä, jotka kuuluvat alkueliöihin.

alleeli, *allele* 98
Geenin vaihtoehtoinen muoto. Vastinkromosomien saman lokuksen geenit voivat olla erilaiset, jolloin yksilö on perinyt isältään erilaisen alleelin kuin äidiltään.

aminohappo, *amino acid* 52
Proteiinin rakenneosia, joita on lähes kaikissa eliöissä 20 erilaista.

AMP, adenosiinimonofosfaatti, *adenosine monophosphate* 20
Ks. adenosiinifosfaatit.

anabolinen reaktio, *anabolic reaction* 66
Soluissa tapahtuva reaktio, jossa rakentuu uusia aineita.

anaerobinen, *anaerobic* 33
Reaktio, solu tai eliö, jotka eivät käytä happea energian vapauttamiseen. Soluhengityksen alussa, glykolyysissä, energiaa vapautuu glukoosista

ilman happea eli reaktio on anaerobinen. Hapen läsnä ollessa soluhengitys jatkuu, mutta jos happea ei ole saatavilla, energiaa vapautuu käymisreaktiossa. Ks. maitohappokäyminen ja alkoholikäyminen.

antigeeni, *antigen* 106
Aine, joka sitoutuu vasta-aineeseen. Antigeeni on elimistölle vieras aine, joka saa elimistössä aikaan yleensä vasta-aineen tuotannon.

arkit, *arcs* 11
Alkeiselioihin kuuluvia, bakteereita muistuttavia eliöitä, jotka luokitellaan nykyisin omaksi eliökunnakseen. Useat arkit elävät äärimmäisissä olosuhteissa, kuten kuumissa lähteissä tai rikkilähteissä.

atomi, *atom* 14
Alkuaineen pienin hiukkanen, joka rakentuu alkeishiukkasista. Atomiin kuuluvat ydin (protonit ja neutronit) ja sitä kiertävät elektronit. Atomit voivat liittyä toisiinsa kemiallisiin sidoksiin, jolloin muodostuu molekyylejä.

ATP, adenosiinitrifosfaatti, *adenosine triphosphate* 20
Ks. adenosiinifosfaatit.

autosomi, *autosome* 111
Muu kromosomi kuin sukupuolikromosomi.

autotrofinen, *autotrophic* 21
Ks. omavarainen.

avustettu diffuusio, *facilitated diffusion* 46
Aineiden passiivinen kulkeutuminen solukalvon läpi. Aineet siirtyvät solukalvon läpi kantajaproteiinien avulla

tai ionikanavien läpi, jolloin niiden siirtyminen nopeutuu.

B

bakteerit, *bacteria* 11
Alkeiselioihin kuuluvia esitumallisia eliöitä. Niiltä puuttuu tumakotelo, ja niiden solurakenne on yksinkertainen.

D

denaturoituminen, *denaturation* 68
Orgaanisen aineen rakenteen tai muiden ominaisuuksien muuttuminen. Esimerkiksi proteiinien rakenne muuttuu lämpötilan, pH:n tai suolapitoisuuden vaikutuksesta.

deoksiribonukleiinihappo, *deoxyribonucleic acid* 55
DNA, solujen perinnöllistä informaatiota sisältävä molekyyli. Se koostuu nukleotideista, joiden rakenneosia ovat fosfaattiosa, deoksiribosisokeri sekä emäsosa, joka voi olla adeniini (A), tyymiini (T), guaniini (G) tai sytosiini (C). DNA on kiertäinen kaksoisjuoste, jota on tumassa, mitokondrioissa ja viherhiukkasissa.

diffuusio, *diffusion* 43
Aineiden sekoittuminen, joka johtuu atomien ja molekyylien lämpöliikkeestä. Diffuusiosta aineiden pitoisuuserot pyrkivät tasoittumaan. Pienimolekyyliset aineet, esimerkiksi happi ja hiilidioksidi, voivat siirtyä solukalvon läpi diffuusion avulla.

dihybridiristeytys, *dihybrid cross* 120
Risteytys, jossa risteytettävät yksilöt eroavat toisista-

taan kahden tarkasteltavan perinnöllisen ominaisuuden suhteen.

diploidinen, *diploid* 89
Kaksinkertainen kromosomisto eli tumassa on kutakin kromosomia kaksi kappaletta. Toinen näistä vastinkromosomeista on peritty isältä ja toinen äidiltä.

disakkaridit, *disaccharide* 31
Sokereita, jotka muodostuvat kahdesta monosakkaridimolekyylistä. Ne ovat yleensä makeita sokereita, esimerkiksi sakkaroosi ja laktoosi. Ks. hiilihydraatit.

DNA, *deoxyribonucleic acid* 66
Ks. deoksiribonukleiinihappo.

dominoiva alleeli, *dominant allele* 102
Alleeli, joka peittää toisen (resessiivisen) alleelin vaikutuksen ja aiheuttaa yksinkertaisenakin ominaisuuden ilmenemisen.

dominoiva ominaisuus, vallitseva ominaisuus, *dominant character* 103
Peritty ominaisuus, jonka ilmenemiseen riittää yksikin alleeli.

E
elektroni, *electron* 14
Negatiivisesti varautunut alkeishiukkanen. Atomeissa elektronit ovat ytimen ympärillä.

elektroninsiirtoketju, *electron transfer chain* 33
Hapetus-pelkistysreaktioiden sarja, jossa energiaa vapautuu glukoosista vähitellen ja vapautuva energia sitoutuu ATP-molekyyleihin. Elektroninsiirtoketju toimii mm. soluhengityksessä ja fotosynteesissä.

eliö, *organism* 11
Yhden tai useamman solun muodostama itsenäisesti toimiva yksilö.

endosytoosi, *endocytosis* 47
Suurehkojen molekyylien kuljetus solukalvon läpi.

entsyymi, *enzyme* 65
Proteiini, joka katalysoi jotakin kemiallista reaktiota muuttumatta reaktiossa itse. Ainetta, jonka reaktiota entsyymi katalysoi, kutsutaan substraatiksi. Reaktiossa entsyymi ja substraatti liittyvät toisiinsa. Reaktion tuloksena syntyy lopputuote tai -tuotteita.

epäorgaaninen yhdiste, *inorganic compound* 13
Elottoman luonnon aine. Ei yleensä sisällä hiiltä.

eriperintäinen, *heterozygote* 100
Ks. heterotsygoottinen.

esitumallinen, *prokaryote* 11
Eliö, jonka soluissa ei ole tumakoteloita. Esitumallisia ovat arkit ja bakteerit.

F
fenotyyppi, ilmiasu, *phenotype* 98
1. perimän ja ympäristötekijöiden määräämä yksilön havaittavien ominaisuuksien kokonaisuus, 2. tietyn alleeliparin ilmeneminen yksilössä.

fosfolipidit, *phospholipids* 40
Solujen lipidejä, jotka koostuvat glyserolista, rasvahapoista ja fosfaatista. Fosfolipidit muodostavat solukalvon kaksikerroksisen rungon.

fotosynteesi, *photosynthesis* 21
Monivaiheinen reaktiosarja, jossa valoenergia sitoutuu orgaanisten yhdisteiden

sidosenergiaksi. Fotosynteesin lähtöaineita ovat epäorgaaniset hiilidioksidi ja vesi, lopputuotteita glukoosi ja happi. Fotosynteesissä on kaksi vaihetta: valo- ja pimeäreaktiot.

G
geeni, perintötekijä, *gene* 57
DNA-molekyylin jakso, joka ohjaa solun ja eliön elintoimintoja sekä ominaisuuksien kehitystä.

geneettinen rekombinaatio, *genetic recombination* 121
Alleelien sattumanvarainen järjestäytyminen suvullisessa lisääntymisessä sellaisiksi yhdistelmiksi, joita vanhemmilla ei esiinny. Geneettinen rekombinaatio on seurausta mendelistisestä rekombinaatiosta ja tekijäinvaihdunnasta.

genetiikka, *genetics* 102
Ks. perinnöllisyystiede.

genotyyppi, perimä, *genotype* 98
1. kaikkien yksilön vanhemmiltaan perimien geenien kokonaisuus, 2. kunkin geenilokuksen alleeliyhdistelmä.

glukoosi, rypälesokeri, *glucose* 30
Kuudesta hiiliatomista, kahdestatoista vetyatomista ja kuudesta happiatomista rakentunut yksinkertainen sokeri eli monosakkaridi ($C_6H_{12}O_6$). Glukoosi on solujen tärkein energialähde. Ks. monosakkaridi.

glykogeeni, eläintärkkelys, *glycogen* 31
Glukoosista rakentunut monihaarainen polysakkaridi, jota eläimillä on varastoituneena lihaksissa ja maksassa.

glykolyysi, *glycolysis* 33
Soluhengityksen ensimmäinen vaihe, jossa glukoosimolekyyli hajoaa kahdeksi palorypälehappomolekyyliksi. Glykolyysissä syntyy lisäksi vetyä ja sitoutuu energiaa ATP-molekyyleihin.

Golgin laite, *Golgi apparatus* 62
Tumallisten solujen kalvorakenteinen soluelin, jossa proteiinit muokataan ja lajitellaan.

H
hapettuminen, *oxidation* 25
Reaktio, jossa aineen atomit luovuttavat elektroneja. Elektroneja luovuttava aine hapettuu. Ks. hapetus-pelkistysreaktio.

hapetus-pelkistysreaktio, *oxidation-reduction reactions (redox reactions)* 25
Reaktio, jossa hapettuvan aineen atomit luovuttavat elektroneja pelkistyvän aineen atomeille. Hapettuminen ja pelkistyminen tapahtuvat aina samanaikaisesti: aina kun jokin aine hapettuu, toinen pelkistyy. Esimerkiksi soluhengityksessä ja fotosynteesissä tapahtuu hapetus-pelkistysreaktioita.

haploidinen, *haploid* 89
Yksinkertainen kromosomisto. Tumallisilla eliöillä haploidisia soluja ovat meioosin tuloksena syntyneet sukusolut. Esitumalliset eliöt ovat aina haploideja.

heterotrofinen, toisenvarainen, *heterotrophic* 32
Eliö, joka saa tarvitsemansa energian toisilta eliöiltä.

heterotsygootti, *heterozygote* 103
Yksilö, jolla on eri alleelit vastinkromosomiensa geeni-paikoissa (lokuksissa).

heterotsygoottinen, eriperintäinen, *heterozygous* 100
Heterotsygoottia tarkoittava.

hiilihydraatit, *carbohydrates* 30
Hiilestä, hapesta ja vedystä rakentuneita orgaanisia molekyylejä. Ks. monosakkaridit, disakkaridit ja polysakkaridit.

homeoottinen geeni, *homeotic gene* 124
Kokonaisen geenisarjan toimintaa ohjaava geeni.

homotsygootti, *homozygote* 103
Yksilö, jolla on samanlaiset alleelit vastinkromosomiensa geenipaikoissa (lokuksissa).

homotsygoottinen, samaperintäinen, *homozygous* 101
Homotsygoottia tarkoittava.

hybridi, *hybrid* 100
Kahden perimältään erilaisen yksilön risteytymisestä syntyvä jälkeläinen.

hydrofiilinen, *hydrophilic* 40
Vesihakuinen, vettä suosiva eliö tai aine.

hydrofobinen, *hydrophobic* 40
Vettä karttava eliö tai aine.

I
ilmarako, *stoma* 23
Kasveilla lähinnä lehtien pinnalla sijaitseva pieni aukko, jota huulisolut reunustavat. Ilmarakoja on yleensä enemmän lehtien ala- kuin yläpinnalla. Ilmarakojen kautta kasveista haihtuu vettä, ja niiden kautta kulkevat myös hiilidioksidi ja happi.

ilmiasu 98
Ks. fenotyyppi.

inhibiittori, *inhibitor* 68
Aine, joka estää esim. entsyymien toiminnan.

intermediaarinen
periytyminen 106
Ks. välimuotoinen periytyminen.

ioni, *ion* 13
Sähköisesti varautunut atomi tai atomiryhmä. Ioni voi olla joko positiivisesti (kationi) tai negatiivisesti (anioni) varautunut.

ionisidos, *ionic bond* 13
Positiivisesti ja negatiivisesti varautuneen ionin välinen sidos.

isäntägeeni 124
Ks. homeoottinen geeni.

itsepölytys, *self-pollination* 102
Kukan pölyttyminen siitepölyllä, joka on peräisin samasta kasviyksilöstä.

iturata, sukusolulinja, *germ line* 88
Sukusoluihin johtava solulinja, joka eläimillä sijaitsee sukupuolirauhasissa.

J
johtojänne, *vascular bundle* 24
Putkilokasveilla johtosoluista muodostuva vettä ja ravinteita sekä yhteyttämis- tuotteita kuljettava putkimainen rakenne. Johtojänteet alkavat juurista ja johtavat varren kautta lehtiin, jossa niitä kutsutaan lehtisuoniksi. Johtojänteissä on yleensä puu-, nila- ja jälsiosa.

jälsi, *cambium* 24
Havupuiden ja kaksisirkkaisten kasvien juuren ja varren kasvusolukko. Jällen solut saavat jakautuessaan aikaan puiden paksuuskasvun.

järjestysluku, *Z*, *atomic number* 14
Ilmaisee atomin ytimessä olevien protonien määrän.

K
kalvoproteiinit, *membrane proteins* 43
Solukalvon proteiineja, joilla on solukalvossa monia erilaisia tehtäviä, esim. aineiden kuljetus solukalvon läpi, viestien vastaanotto ja toimiminen entsyyminä.

karotenoidit, *carotenoids* 41
Luonnossa esiintyviä keltaisia tai punaisia väriaineita. Karotenoideja ovat karoteenit, esimerkiksi porkkanan sisältämä beetakaroteeni ja ksantofyllit, joita on useissa vihreissä kasveissa. Ne vaikuttavat kasveissa kukkien ja hedelmien väriin ja suojaavat liialliselta valolta. Kemialliselta rakenteeltaan karotenoidit ovat lipidejä.

kasvutekijä, *growth factor* 128
Kudosten tuottama hormonien kaltainen viestiaine, joka lisää tai hillitsee solun kasvua tai erilaistumista vaikuttamalla geenien toimintaan.

katabolinen reaktio, *katabolic reaction* 66
Soluissa tapahtuva reaktio, jossa aineet hajoavat.

katalyytti, *catalyst* 66
Aine, joka nopeuttaa kemiallista reaktiota.

kelpoisuus, *fitness* 123
Yksilön kyky säilyä elossa lisääntymisikään saakka ja tuottaa lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Kelpoisuutta voidaan mitata vertaamalla yksilön jälkeläisten määrää ja niiden hedelmällisyyttä populaation muihin yksilöihin.

kemosynteesi, *chemosynthesis* 29
Orgaanisten yhdisteiden valmistaminen energian avulla, joka on saatu hapettamalla epäorgaanisia yhdisteitä.

keskusjyvänen, sentrioli, *centriole* 80
Soluelin, joita on yleensä kaksi. Niiden välille muodostuu tuman jakautuessa sukkularihmasto.

kiasma, *chiasm* 92
Kohta, jossa vastinkromosomin osat vaihtavat paikkoja keskenään (tekijäinvaihdunta eli crossing over). Kiasmoja syntyy meiosisin vähennysjaon alussa.

klorofylli, *chlorophyll* 22
Ks. lehtivihreä.

kloroplasti, *chloroplast* 22
Ks. viherhiukkanen.

kofaktori, *cofactor* 66
Joidenkin entsyymien toiminnalle välttämätön pieni yhdiste, esim. vitamiini.

koodaava juoste, *coding strand* 58
DNA:n juoste, jonka emäsjärjestys on sama kuin lähetti-RNA:n emäsjärjestys.

kovalenttinen sidos, *covalent bond* 14
Kahden atomin välinen sidos, jossa atomit jakavat keskenään elektroneja. Kovalenttisella sidoksella toisiinsa liittyvät atomit muodostavat molekyylejä.

kromatiini, *chromatin* 80
Välvaiheen aikana tuman täyttävä rihmamainen perintöainne. Muodostuu DNA:sta ja proteiineista.

kromosomi, *chromosome* 57
Tumallisilla eliöillä tumassa sijaitseva DNA:sta ja proteiineista muodostuva kappale, jossa geenit sijaitsevat. Kromosomien määrä on lajityypillinen.

kromosomistomutaatio, *genome mutation* 94

Mutaatio, jossa kromosomiluku muuttuu.

kudos, *tissue* 77

Monisoluisten eläinten samankaltaisten solujen muodostama toiminnallinen kokonaisuus. Kasveilla kudosta vastaa solukko.

käyminen, *fermentation* 34
Soluissa anaerobisesti tapahtuva reaktio, jossa orgaanisten aineiden sidospainetta vapautuu ATP-molekyylien sidospainetta energiaksi. Reaktiossa syntyy lisäksi hiilidioksidia, vettä ja maitohappoa tai alkoholia. Ks. maitohappokäyminen ja alkoholikäyminen.

L

lehtivihreä, klorofylli, *chlorophyll* 22
Rengasmainen molekyyli, jonka runkona on pyrroliringas ja keskusatomina magnesium. Lehtivihreällä tarkoitetaan kasvien ja syanobakteereiden vihreitä yhteyttämisväriaineita, joita ovat muun muassa a- ja b-klorofylli sekä bakteri-klorofylli.

letaali alleeli, *lethal allele* 107
Alleeli, joka esiintyessään kahtena kappaleena aiheuttaa jälkeläisen kuoleman jo ennen tämän syntymää tai viimeistään ennen lisääntymistä.

lipidit, *lipids* 40
Rasva-aineita, jotka liukenevat hyvin orgaanisiin liuotimiin, mutta eivät veteen. Solujen lipidejä ovat mm. steroidit, triglyseridit ja fosfolipidit.

lokus, *locus* 98
Geenin tarkka paikka kromosomissa. Saman lokuksen geenit ovat keskenään alleeleja eli vastingenejä.

luonnonvalinta, *natural selection* 128
Evoluutioteorian keskeinen periaate, minkä mukaan kelvollisimmat yksilöt tuottavat eniten lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Luonnonvalinnan seurauksena parhaiten eliöiden sopeutumista lisäävät alleelit alkavat yleistyä populaatiossa.

M

maitohappokäyminen, *lactic acid fermentation* 34
Anaerobinen reaktio, jossa glukoosista syntyy maitohappoa ja hiilidioksidia sekä vapautuu vähäinen määrä energiaa.

makroevoluutio, *macroevolution* 129
Evoluutio, joka johtaa uusien lajien syntyyn. Makroevoluutio perustuu samoihin mekanismeihin kuin mikroevoluutio, mutta siinä populaatio jakautuu osapopulaatioiksi, joihin kohdistuu ympäristöeroista johtuen erilaiset valintapaineet. Osapopulaatioista muodostuu aikojen kuluessa uusia lajeja.

mallijuoste, *DNA strand* 58
DNA-juoste, joka toimii syntyvän lähetti-RNA:n mallina, templaattina.

meioosi, *meiosis* 88
Solun jakautumistapahtuma, jonka lopputuloksena syntyy sukusoluja. Siihen kuuluu kaksi tuman jakautumista: vähennysjako ja tasausjako. Meioosin aikana: 1. kaksinkertainen kromosomiluku puolittuu ja 2. perintöaines järjestyy uudelleen.

Mendelistinen rekombinaatio, kromosomien välinen rekombinaatio, *Mendelian recombination* 121
Vastinkromosomit jakautuvat

sattumanvaraisesti eri sukusoluihin meioosissa. Tämän seurauksena eri kromosomeissa sijaitsevien geenien alleeleista tulee sukusoluihin sattumanvaraisesti kaikkia mahdollisia yhdistelmiä.

mikroevoluutio, *microevolution* 129
Populaation sisäinen evoluutio, joka on seurausta mutaatioista, geneettisestä rekombinaatiosta ja luonnonvalinnasta. Mikroevoluution tuloksena populaation alleelikoostumus muuttuu.

mikrometri (µm), *micrometer* 9
Metrin miljoonasosa (10^{-6}).

mitokondrio, *mitochondrion* 33
Kahdesta kalvosta muodostunut soluelin, jossa soluhengitys tapahtuu. Mitokondrioissa on DNA:ta.

mitoosi, *mitosis* 82
Tuman jakautuminen. Mitoosin tuloksena syntyy kaksi keskenään ja emotuman kanssa perimältään samanlaista tumaa. Mitoosin vaiheet ovat esi-, keski-, jälki- ja loppuvaihe. Mitoosin jälkeen tapahtuu tavallisesti soluliman jakautuminen.

molekyyli, *molecule* 14
Aineen rakenneyksikkö, joka on muodostunut atomien liittyessä toisiinsa kovalenttisella sidoksella, esimerkiksi happimolekyyli (O_2) ja vesimolekyyli (H_2O).

monohybridi, *monohybrid* 100
Yksilö, joka on heterotsygoottinen yhden alleeliparin suhteen.

monosakkaridi, *monosaccharide* 30
Yksinkertainen sokeri.

Monosakkarideissa on vain yksi sokeri-yksikkö, jossa voi olla 3–6 hiiliatomia, esim. glukoosi ja fruktoosi. Ks. hiilihydraatit.

monitekijäinen periytyminen, multifaktoriaalinen periytyminen, *multifactorial inheritance* 128
Periytyminen, missä ominaisuuteen vaikuttavat monet geenit yhdessä ympäristötekijöiden kanssa.

multippelit alleelit, *multiple alleles* 103
Saman geenin useat eri muodot, joita populaatiossa esiintyy. Pienin multippelisarja käsittää saman lokuksen kolme eri alleelia.

muovautumismuuntelu, *phenotypic plasticity* 98
Ympäristötekijöiden aiheuttama saman lajin yksilöiden erilaisuus. Sitä voi tapahtua vain geenien asettamissa rajoissa.

mutaatio, *mutation* 94
Geenissä, kromosomissa tai koko kromosomistossa tapahtuva pysyvä muutos.

muuntelu, *variation* 127
Populaation yksilöiden, eri populaatioiden, lajien ym. välinen erilaisuus, joka voi olla ympäristön tai perimän aiheuttamaa.

N

nanometri (nm), *nanometer* 9
Metrin miljardisosa (10^{-9}).

nilaosa, *phloem* 24
Putkilokasvien johtojänteen osa, jota pitkin yhteyttämis- tuotteet kuljetetaan kasvin eri osiin.

nukleiinihappo, *nucleic acid* 55
Tuman ja solun informaati-

tiota sisältävä orgaaninen molekyyli, joita ovat DNA (deoksiribonukleiinihappo) ja RNA (ribonukleiinihappo). Ne ovat muodostuneet nukleotideista.

nukleotidi, *nucleotide* 56
Nukleiinihappojen rakenneosa, joka koostuu sokeri-, fosfaatti- ja emäsosasta. Emäsosa voi olla adeniini, tymiini, urasiili, sytosiini tai guaniini.

näkyvä valo, *visible light* 26
Sähkömagneettisen spektrin osa, jonka aallonpituus on noin 400–700 nm.

O

omavarainen, *autotrophic* 21
Eliö tai solu, joka kykenee itse sitomaan tarvitsemansa energian orgaanisiin yhdisteisiin joko fotosynteesissä tai kemosynteesissä.

orgaaninen yhdiste, *organic compound* 13
Solun hiiltä sisältävä yhdiste (paitsi hiilidioksidi ja karbonaatit). Solun orgaanisia yhdisteitä ovat hiilihydraatit, lipidit, proteiinit ja nukleiinihapot.

osmoosi, *osmosis* 44
Liuottimen eli soluissa veden siirtymistä diffuusiassa puoliläpäisevän kalvon läpi laimeammasta liuoksesta väkevämpään. Siirtyminen tasoittaa kalvon eri puolilla olevien liuosten väkyyseroja. Vesi siirtyy suuremman vesipitoisuuden puolelta pienemmän vesipitoisuuden puolelle.

P

partenogeneesi, *parthenogenesis* 112
Alkion synty naaraspuolisesta sukusolusta ilman hedelmöi-

tystä. Luokitellaan suvulliseksi lisääntymiseksi.

passiivinen kulkeutuminen, *passive transport* 43
Aineiden siirtyminen solukalvon läpi suuremman pitoisuuden puolelta pienemmän pitoisuuden puolelle ilman energiaa. Se voi tapahtua diffuusion, osmoosin tai avustetun diffuusion eli kantaja-aineiden avulla tai proteiinikanavien kautta.

pelkistyminen, *reduction* 25
Reaktio, jossa aineen atomit ottavat vastaan elektroneja. Elektroneja vastaanottava aine pelkistyy. Ks. hapetus-pelkistysreaktiot.

peptidisidos, *peptide bond* 52, 60
Kahden aminohapon yhdistyessä muodostuva sidos, kun toisen aminohapon karboksyyli-ryhmä ja toisen aminoryhmä reagoivat keskenään.

perimä, *genotype* 100
Ks. genotyyppi.

perinnöllisyystiede, genetiikka, *genetics* 102
Ominaisuuksien periytymistä ja muuntelua tutkiva tiede.

pH, *pH* 68
Happamuutta osoittava luku. pH-luku voi olla 1–14: 7 = neutraali, > 7 = emäksinen ja < 7 = hapan.

pimeäreaktiot, *dark reactions* 25
Fotosynteesissä valoreaktioiden jälkeen tapahtuvat reaktiot, joissa hiilidioksidista ja vedystä syntyy glukoosia.

plasmolyysi, *plasmolysis* 45
Ilmiö, jossa kasvisolusta siirtyy osmoosin vaikutuksesta vettä sen ulkopuolelle, kun kasvisolu on itseään väkevämässä ympäristössä. Tämän seurauksena solulima irta-
a-

soluseinästä ja vakuolit pienenevät.

polygeenit, *polygenes* 124
Määrällisiin ominaisuuksiin vaikuttavat geenit. Nämä geenit sijaitsevat monissa lokussissa, ja niiden vaikutus on usein summautuvaa. Yhden alleelin vaikutus on vähäinen, mutta monet alleelit yhdessä saavat aikaan liukuvan sarjan erilaisia fenotyyppisiä.

polysakkaridi, *polysaccharide* 31
Hiilihydraatti, joka on muodostunut monista monosakkaridimolekyyleistä. Esim. tärkkelys, selluloosa ja glykogeeni. Ks. hiilihydraatit.

P-polvi, *parental generation* 103
Risteytyksissä kantavanhemmat. Mendelin risteytyksissä P-polvi on tutkittavien geenien osalta homotsygoottinen.

primaarirakenne, *primary structure* 61
Proteiinin aminohappojen järjestys.

proteiinisynteesi, *protein synthesis* 58
Proteiinien syntyminen soluissa geenien ohjeiden mukaan.

proteiini, valkuaisaine, *protein* 51
Solujen elintoiminnoille välttämätön tyyppiä sisältävä molekyyli, joka on rakentunut aminohapoista.

protoni, *proton* 14
Atomin ytimen positiivisesti varautunut alkeishiukkanen.

puhdas linja, *pure line* 101
Perinnöllisesti samanlaisten, geenistöltään homotsygoottisten yksilöiden muodostama peräkkäisten sukupolvien sarja.

puuosa, *xylem* 24
Kuolleista pitkistä soluista muodostunut johtojänteen osa, jota pitkin vesi ja siihen liuenneet ravinteet kulkevat.

R

rakennegeeni, *structural gene* 124
Geeni, joka ohjaa tietyn proteiinin syntyä proteiinisynteesissä.

rasvahappo, *fatty acid* 41
Hiilivetyjen muodostama pitkäketjuinen yhdiste, jolla on tärkeä merkitys solujen rakenteissa ja energiavarastoina.

rekombinaatio, *recombination* 119
Ks. geneettinen rekombinaatio.

reseptori, *reseptor* 43
Solukalvolla tai solun sisällä sijaitseva tunnistinmolekyyli, joka on usein proteiini.

resessiivinen alleeli, *recessive allele* 100
Alleeli, jonka ilmentämä ominaisuus tulee esiin vain alleelin esiintyessä kahtena kappaleena (homotsygoottisena).

resessiivinen, väistytävä ominaisuus, *recessive character* 100
Ominaisuus, jonka ilmeneemiseen tarvitaan aina kaksi samaa alleelia.

ribonukleiinihappo, RNA, *ribonucleic acid* 56
Nukleiinihappo, joka rakentuu nukleotideista, joissa on ribosisokeri, fosfaattiosa ja emäsosa (urasiili, adeniini, guaniini tai sytosiini). RNA:ta on kolmea eri tyyppiä: lähetti-RNA, siirtäjä-RNA ja ribosomi-RNA.

ribosomi, *ribosome* 59
Soluelin, joka on muodostunut RNA:sta ja proteiineista.

Solun proteiinit syntyvät ribosomien pinnalla.

ristipölytys, *cross-pollination* 100
Kukan pölyttyminen toisen yksilön siitepölyllä, jolloin seurauksena on ristisiitos.

RNA 56
Ks. ribonukleiinihappo.

rypälesokeri, *glucose* 30
Ks. glukoosi.

S

samaperintäinen, *homozygote* 103
Ks. homotsygoottinen.

sekundaarirakenne, *secondary structure* 61
Proteiinin aminohappoketjun kierteinen tai laskostunut spiraalirakenne.

sentrioli, *centriole* 80
Ks. keskusjyvänen.

sentromeeri, *centromere* 81
Jakautumassa olevan kromosomin keskikohta, johon kromosomin kromatidit kiinnittyvät. Tumanjakautumisessa sukkularihmat kiinnittyvät sentromeeriin.

sisarkromatidi, *sister chromatid* 81
Saman kromosomin kahdentumisen seurauksena syntyneet identtiset kromatidit eli DNA-juosteet.

sitruunahappokierto, *citric acid cycle* 33
Soluhengitykseen kuuluva reaktiosarja, joka tapahtuu mitokondrioissa tai bakteereilla soluliman kalvostoissa. Kierto alkaa glykolyysissä syntyneestä pyruvaatista, joka yhtyy koentsyymi A:han. Seuraavissa reaktioissa vapautuu hiilidioksi-

dia ja vetyioneja. Ne liittyvät vedynsiirtäjiin, jotka osallistuvat sitruunahappokiertoa seuraavaan elektroninsiirtoketjuun. Elektroninsiirtoketjussa vety hapettuu vähitellen ja samalla energiaa sitoutuu ATP-molekyyleihin. Reaktion lopputuloksena syntyy vettä.

solu, *cell* 8
Eliöiden pienin rakenneyksikkö.

soluhengitys, *cell respiration* 33
Reaktiosarja, jossa ravintoaineiden kemiallisissa sidoksissa oleva energia vapautuu hapen läsnä ollessa ja sitoutuu ATP-molekyyleihin ja siten solujen käyttöön. Soluhengitykseen kuuluu kolme vaihetta: anaerobinen glykolyysi, sitruunahappokierto ja elektroninsiirtoketju.

solukalvo, *plasma membrane* 40
Solun osa, joka erottaa sen ympäristöstään. Se on valikoivasti puoliläpäisevä, kahdesta lipidikerroksesta, siihen uponneista proteiineista ja esimerkiksi kolesterolista ja hiilihydraateista muodostunut kalvo. Solukalvo säätelee ravintoaineiden, ionien, eritteiden ja erilaisten viestaineiden kulkua soluun ja solusta ulos.

solukko, *tissue* 77
Monisoluisten kasvien samankaltaisten solujen muodostama toiminnallinen kokonaisuus. Eläimillä sitä vastaa kudος.

solulima, *cytoplasm* 75
Solun sisällä oleva neste, jossa soluelimet sijaitsevat. Solulima koostuu pääosin vedestä, ja lisäksi siinä on proteiineja, hiilihydraatteja, RNA:ta ja epäorgaanisia ioneja.

solulimakalvosto, *endoplasmic reticulum* 48, 74
Solun sisäinen kalvosto, joka antaa solulle muodon ja toimii aineiden kuljetusreitteinä. Solulimakalvoston pinnalla voi olla ribosomeja. Solulimakalvostossa valmistetaan, muokataan ja kuljetetaan lipidejä ja proteiineja.

soluseinä, *cell wall* 75
Useimpien kasvisolujen ja sienisolujen uloin kerros solukalvon ulkopuolella. Se koostuu pääasiassa kasveilla selluloosasta, sienillä kitiinistä ja bakteereilla mureiinista. Soluseinä tukee ja suojaa solua ja erottaa ne toisistaan.

solusyönti, *endocytosis* 47
Solu ympäröi solukalvolla esim. ravintonsa (ameeba) tai tuhottavan eliön (valkosolu), siirtää sen sisäänsä ja entsyymit hajottavat sen.

steroidit, *steroids* 41
Lipidiyhdisteitä, joita ovat esimerkiksi eläinten sukupuolihormonit.

substraatti, *substrate* 67
Aine, johon entsyymi vaikuttaa.

sukupuolikromosomi, *sex chromosome* 112
Eläimen sukupuoleen vaikuttava kromosomi.

sukusolu, sukupuolisolu, *gamete* 88
Tumallisten eliöiden lisääntymissoluja, jotka syntyvät meioosin tuloksena. Nisäkäillä koiraspuolisia sukusoluja kutsutaan siittiöiksi ja naaraspuolisia munasoluiksi.

suvullinen lisääntyminen, *sexual reproduction* 88
Lisääntyminen, joka tapahtuu koiras- ja naarassukusolujen avulla ja hedelmöi-

tyksen välityksellä (poikkeuksena partenogeneesi).

syanobakteeri, *cyanobacteria* 21
Alkeiselioihin kuuluva esitumallinen eliöryhmä. Ne ovat omavaraisia, eli ne yhteyttävät. Aiemmin niistä on käytetty yleisesti nimitystä sinilevät.

sähkömagneettinen säteily, *electromagnetic radiation* 25
Säteilyenergia, jota syntyy kemiallisissa reaktioissa, ydinreaktioissa sekä sähkö- ja magneettikentissä. Auringon ydinreaktioista lähtöisin olevan näkyvän valon aallonpituudet ovat välttämättömiä yhteyttävälle kasveille.

säätelygeeni, *regulator gene* 124
Geeni, jonka tuote säätelee muiden geenien toimintaa.

T

tasausjako, meioosi 2, *2d meiotic division* 90
Meioosin toinen vaihe, jonka aikana vähennysjaossa syntyneet kaksi solua jakautuvat uudelleen ja tuloksena syntyy neljä haploidista solua.

tekijäinvaihdunta, geenienvaihdunta, *crossing over* 121
Meioosin aikana tapahtuva ilmiö, jossa kokonaiset kromosomin palaset voivat vaihtaa paikkaa vastinkromosomien välillä. Samalla näissä kohdissa olevat alleelit siirtyvät vastinkromosomista toiseen.

tertiäärirakenne, *tertiary structure* 61
Proteiinin kolmiulotteinen rakenne, joka määrää proteiinin toiminnan.

toisenvaarainen,
heterotrophic 21
Ks. heterotrofinen.

triglyseridi, *triglyceride* 41
Rasvoja, jotka ovat muodostuneet glyserolimolekyylin ja kolmen rasvahappomolekyylin reagoidessa. Suurin osa ravinnon rasvoista on triglyseridejä.

tuma, *nucleus* 54
Tumallisten eliöiden soluelin, jossa kromosomit ja tumajyvänen sijaitsevat. Tumaa ympäröi tumakotelo.

tumahuokonen,
nuclear pore 54
Tumakotelossa oleva, proteiinien muodostama aukko, jonka kautta molekyylejä siirtyy tumaan ja sieltä pois.

tumajyvänen, *nucleolus* 54
Tuman sisällä oleva soluelin, jossa muodostuu RNA-nukleotidejä.

tumakotelo,
nuclear envelope 54
Tuman ympärillä oleva kalvorakenne.

tumallinen, *eucaryotic* 77
Solu, jossa on tumakotelon ympäröimä tuma. Tumallisia eliöitä ovat alkueliöt, kasvit, sienet ja eläimet.

tytärkromosomi,
daughter chromosome 81
Kromosomin toinen kromatidi, joka on eronnut toisesta tytärkromosomista solunjakautumisen aikana mitoosin ja meioosin toisen jakautumisen jälkivaiheessa (anafaasissa).

tytärsolut,
daughter cells 84
Solunjakautumisessa eli joko mitoosissa tai meioosissa emosolusta syntyneet kaksi solua.

tyydyttymätön rasvahappo,
unsaturated fatty acid 41
Hiilivetyjen muodostamia pitkäketjuisia yhdisteitä, joiden molekyylissä on yksi tai useampi kaksoissidos.

tyydyttynyt rasvahappo,
saturated fatty acid 41
Hiilivetyjen muodostamia pitkäketjuisia yhdisteitä, joissa on vain yksinkertaisia sidoksia.

tärkkelys, *starch* 31
Fotosynteesin lopputuotteena sadoista glukoosiyhdisteistä muodostunut polysakkaridi. Tärkkelys on kasvien tärkein varastohiilihydraatti. Sitä on runsaasti esim. perunassa ja viljakasvien jyvässä.

V

vakuoli, *vacuole* 75
Kalvojen muodostama nesteen täyttämä soluelin.

vallitseva ominaisuus 101
Ks. dominoiva ominaisuus.

valoreaktiot,
light phases 25
Fotosynteesin valoa vaativat reaktiot, jotka tapahtuvat ensimmäisinä. Auringon valoenergiaa sitoutuu ATP-molekyyleihin, ja vesi hajoaa vetyioneiksi ja hapeksi.

vasta-aine, *anti body* 106
Immuunijärjestelmän tuottama proteiinimolekyyli, joka osallistuu elimistölle vieraan aineen (antigeenin) eliminoimiseen. Jokainen vasta-aine tunnistaa vain tietyn antigeenin.

vastinkromosomit,
homologous chromosomes 89
Molemmilta vanhemmilta perityt samanlaiset kromosomit, jotka muodostavat kromosomiparin.

vedynsiirtäjä,
hydrogen carrier molecule 25
Yhdiste, joka kuljettaa vetyä solujen hapetus-pelkistysreaktioissa, kuten fotosynteesin ja soluhengityksen tietyissä vaiheissa.

vetyidos,
hydrogen bond 13
Muodostuu, kun kovalenttisella sidoksella happi-, typpi- tai fluoriatomiin liittyneet vetyatomit sitoutuu toisen molekyylin typpi-, happi- tai fluoriatomiin. Esimerkiksi vesimolekyylin vetyatomin liittyessä toisen vesimolekyylin happiatomiin syntyy vesimolekyylien välille vetyidos.

viherhiukkanen, kloroplasti,
chloroplast 21
Soluelin, jossa fotosynteesi tapahtuu. Kiekkomaisia, kalvorakenteisia soluelimiä, joiden yhteyttävät kalvot sisältävät yhteyttämisväriaineita, kuten klorofylliä ja karotenoideja.

virus, *virus* 9
Perintöainesta (joko DNA tai RNA) sisältävä pieni kappale, joka tarvitsee toimiakseen elävän solun.

vähennysjako, meioosi 1,
reduction division 90
Meioosin ensimmäinen vaihe, jonka tuloksena syntyy kaksi kromosomistoltaan yksinkertaista eli haploidia solua.

väistyvä ominaisuus 102
Ks. resessiivinen ominaisuus.

välimuotoinen periytyminen, intermediaarinen periytyminen, *incomplete dominance* 104
Saman geenin kahden eri alleelin vaikutus näkyy yksilössä samanaikaisesti. Kumpikaan alleeleista ei dominoi varsinaisesti toista.

välivaihe, interfaasi,
interphase 82
Solun elämäntierrossa jakautumisen välinen aika, jolloin aineenvaihdunta on vilkasta, perintöaines kahdentuu, soluelimet jakautuvat ja solu valmistautuu seuraavaan jakautumiseen.

X

X-kromosomi,
X chromosome 112
Sukupuolikromosomi, joka ohjaa kaksinkertaisena esiintyessään yksilön kehittymisen naaraaksi.

Y

yhteisvallitseva periytyminen 106
Yhteisvallitseviin alleeleihin perustuva periytyminen.

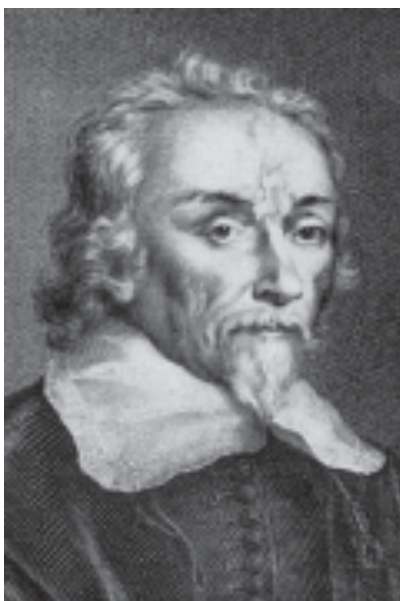
yhteisvallitsevat alleelit,
codominant alleles 106
Alleeleita, jotka vaikuttavat yksilön fenotyyppiin itseenäisesti. Heterotsygoottisella yksilöllä kumpikin alleeli saa aikaan oman itsenäisen erillisen piirteen yksilön fenotyyppiin.

yhteyttäminen,
assimilation 21
Yksinkertaisista epäorgaanisista aineista (esim. CO₂, H₂O, N₂) valmistetaan eliöiden aineenvaihdunnassa monimutkaisia orgaanisia yhdisteitä. Yhteyttämistä ovat fotosynteesi, kemosynteesi ja tyypin hyödyntäminen.

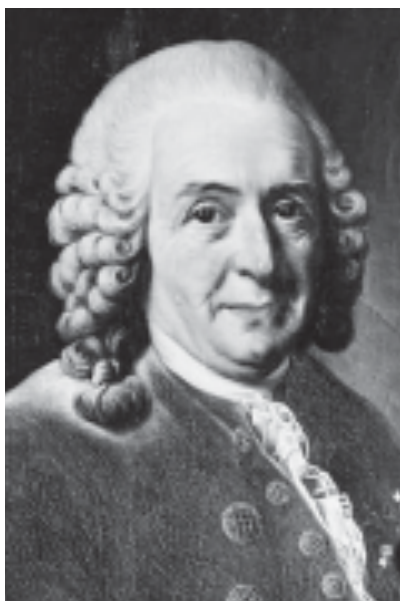
Y-kromosomi,
Y chromosome 112
Koiraiden sukupuolikromosomi eläimillä, joilla koiraan sukupuolikromosomit ovat erilaiset ja naaraan samantyyppiset.

Kuuluisia tutkijoita

1628	William Harvey	Iso-Britannia	Osoitti ensimmäisen kerran, että sydän pumpppaa verta ja veri kiertää suonissa.
1665	Robert Hooke	Iso-Britannia	Tuki mikroskoopilla korkin palasia ja nimesi kennomaiset rakenteet soluiksi.
1668	Francesco Redi	Italia	Osoitti ensimmäisen kerran, että pilaantunut ruoka-aine ei synnytä itsestään kärpäsen toukkia.
1673	Antoni van Leeuwenhoek	Hollanti	Tutki eläviä organismeja omatekoisilla mikroskoopeilla.
1735	Carl von Linné	Ruotsi	Loi eliöiden luokittelujärjestelmän, jonka mukaan jokaisella eliöllä on sukunimi ja lajinimi.
1809	Jean B. Lamarck	Ranska	Julkaisi teorian evoluution jatkumosta, mutta esitti, virheellisesti, että eliöiden elämän aikana hankitut ominaisuudet periytyvät.
1828	Robert Brown	Skotlanti	Löysi tutkimistaan soluista osan, jonka hän nimesi tumaksi.
1835	Hugo Mohl	Saksa	Huomasi ensimmäisenä, että solut jakautuvat.
1838	Matthias Schleiden	Saksa	Todisti kasvien koostuvan useista soluista.
1839	Theodor Schwann	Saksa	Todisti, että myös eläimet koostuvat useista soluista.
1858	Rudolf Virchow	Saksa	Esitti kaikkien solujen syntyvän jakaantumalla toisista soluista.



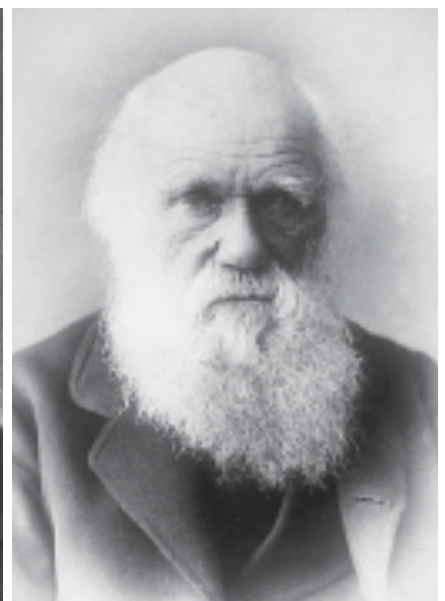
William Harvey



Carl von Linné



Theodor Schwann



Charles Darwin



1858	Charles Darwin	Iso-Britannia	Todisti, että luonnonvalinta ohjaa evoluution prosesseja.
1858	Alfred R. Wallace	Iso-Britannia	Päätyi samoihin ajatuksiin evoluutiosta samaan aikaan kuin Darwin.
1865	Louis Pasteur	Ranska	Todisti, että bakteerit eivät lisäänty itsestään steriilissä ympäristössä. Keksi rokotteen vesikauhua ja pernaruttoa vastaan.
1866	Gregor Mendel	Itävalta	Selvitti perinnöllisyyden lainalaisuuksia herneristeytyksien avulla.
1928	Sir Alexander Fleming	Iso-Britannia	Huomasi tiettyjen homeiden erittämien aineiden estävän bakteerien kasvua. Näistä aineista kehitettiin penisilliini.
1953	James Watson, Francis Crick Rosalind Franklin	Yhdysvallat Iso-Britannia	Mallinsivat DNA:n molekyyliarakenteen ja todistivat sen rakentuvan kaksois-kierteestä.
1953	Harold Urey, Stanley Miller	Yhdysvallat	Esittivät kokeellisesti miten ensimmäiset orgaaniset molekyylit muodostuivat alkeellisessa ilmakehässä.
1954	Linus Pauling	Yhdysvallat	Todisti, että mutaatio proteiinin rakenteessa aiheuttaa sairauksia (hemoglobiinin rakenne).
1966	Edward Lewis	Yhdysvallat	Esitti ensimmäisen kerran teorian homeoottisista geneistä.



Louis Pasteur



Sir Alexander Fleming



James Watson



Linus Pauling

Pituusyksiköitä

nanometri (nm)	10^{-9} m
mikrometri (μm)	10^{-6} m
millimetri (mm)	0,001 (10^{-3}) m
senttimetri (cm)	0,01 (10^{-2}) m
metri (m)	100 cm
kilometri	1000 m

Painoyksiköitä

nanogramma (ng)	10^{-9} g
mikrogramma (μg)	10^{-6} g
milligramma (mg)	0,001 (10^{-3}) g
gramma (g)	1000 mg
kilogramma (kg)	1000 g
tonni	1000 kg

Valokuvien oikeudet

Kannen kuvat: WSOY

Dennis Kunkel Microscopy inc.: s. 45

GettyImages/Paul Avis: s. 91

Seppo Hietaranta: s. 15 kesk. alh., s. 80, s. 82, s. 83, s. 85

Jari-Pekka Holopainen: s. 17 alimmat 3, s. 36, s. 37, s. 48

Eija Jokitalo: s. 16 alh.

Anita Kokkila: s. 100 alh.

Kuvaario/Mauri Rautkari: s. 21 kesk. vas., Kuvaario/Hannu Hautala: s. 27 ylh. vas.

Kuvaliiteri/Jaana Kankaanpää: s. 26, Kuvaliiteri/Reijo Juuri-
nen: s. 34 alh.vas.

Lehtikuva/Eric Grave: s. 77 ylh., Lehtikuva/Suzanne Plun-
kett: s. 119, Lehtikuva/HO: s. 127 ylh. oik.,

Lehtikuva/Phototake/Dennis Kunkel: s. 21 alh.oik., s. 31
alh., s. 42, s. 59, s. 62, s. 76 alh. vas., s. 87 ylh. kesk.,
s. 99 ylh. vas.

Luonnonkuva-arkisto/Matti Ylätupa: s. 6 kesk., LKA/Reijo
Juuri-
nen: s. 21 alh. vas.

Matton/Jupiter Images/Royalty-free: s. 108

Pauli Nieminen: s. 122 vas.

Panu Sotkas: s. 67, s. 86 ylh. vas., s. 103 ylh. ja kesk.,
s. 126 kesk. oik. ja alh. vas., s. 132

Suomen Kuvapalvelu Oy/Corbis/Kevin Schafer: s. 19,
SKOY/Corbis/Charles O'Rear: s. 28, SKOY/Corbis/Ralph
White: s. 29 alh., SKOY/Corbis/Randy Wells: s. 51,
SKOY/Corbis/Charles and Josette Lenars: s. 102, SKOY/
Corbis/Hugh Beebower: s. 104–105, SKOY/Corbis/Mauri-
zio Lanini: s. 113 ylh. oik., SKOY/Corbis/Patric Johns:
s. 122 oik.,

Suomen Kuvapalvelu Oy/SPL: s. 16 kesk. kesk., s. 41 alh.,
s. 55 ylh. vas., s. 86 alh. oik., s. 100 kesk., s. 103 alh.,
s. 127 alh. oik.,

SKOY/SPL/John Durham: s. 7 ylh., s. 11 alh. oik., s. 22
kesk. vas., s. 24 kesk., SKOY/SPL/Jeremy Burgess: s. 7 kesk.
oik., s. 22 alh., s. 107 alh., SKOY/SPL/Steve Gschmeissner:
s. 11 ylh. oik., s. 77 kesk. vas., SKOY/SPL/R.King: s. 16
kesk. vas., SKOY/SPL/Susumu Nishinaga: s. 16 kesk. oik.,
SKOY/SPL/Andrew Syred: s. 21 kesk. ylh., s. 23 kesk.,
s. 57, SKOY/SPL/CNRI: s. 31 kesk., s. 86 alh. vas., s. 91,
s. 127 alh. vas., SKOY/SPL/Eric Grave: s. 47, SKOY/SPL/

Dr. Gopal Murti: s. 54, s. 73, s. 84, SKOY/SPL/A. Barring-
ton Brown: s. 55 ylh. oik., SKOY/SPL/Jürgen Berger: s. 76
alh. kesk., SKOY/SPL/Eye of Science: s. 6 ylh., s. 76 alh.
oik., s. 77 kesk. oik., SKOY/SPL/Mike Bluestone: s. 86–87
pohjakuva, SKOY/SPL/Pascal Goetheluck: s. 87 ylh. oik.,
s. 99 ylh. kesk. vas. ja kesk. oik., SKOY/SPL/Yorgos Nikas:
s. 90, SKOY/SPL/Lauren Shear s. 94

Heikki Willamo: s. 113 ylh. vas.

WSOY: s. 7 kesk. vas., s. 8, s. 12 ylh., s. 15 alh. vas. ja oik.,
s. 18, s. 24 alh., s. 27 ylh. oik., s. 30, s. 34 ylh. oik. ja alh.
oik., s. 39, s. 41 ylh., s. 50, s. 56, s. 65, s. 69 alh. vas.,
s. 79, s. 86 kesk. vas., s. 88, s. 97, s. 99 ylh. oik., kesk. ja
alh., s. 101, s. 105 ylh. ja kesk. oik., s. 106, s. 111, s. 113
alh., s. 114, s. 118, s. 124, s. 125, s. 126 ylh. oik. ja kesk.
vas. ja kesk. ja alh. oik., s. 142–143

WSOY Oppimateriaalit Oy: s. 11 ylh. vas., kesk. vas. ja oik.
ja alh. vas., s. 13, 23 alh., s. 29 ylh., s. 53, s. 68,

WSOY Oppimateriaalit Oy/Anita Kokkila: s. 6 alh., s. 6–7
taustakuva, s. 15 ylh., s. 44, s. 49 ylh., s. 69 kesk. vas.,
s. 70, s. 120–121, s. 123,

WSOY Oppimateriaalit Oy/Minttu Lehtovaara: s. 69 kesk.
oik.,

WSOY Oppimateriaalit Oy/Marcel Maltzeff: s. 69 alh. oik.

Piirroksien oikeudet

Kauko Kyöstiö: s. 18, s. 26, s. 27, s. 35 ylin, s. 48 alh.,
s. 68 ylh., s. 70 ylh., s. 83 ylh., s. 124

Pekka Könönen: s. 12 atomi, s. 13, s. 14, s. 20, s. 23 oik.,
s. 25, s. 30, s. 31 molekyylit, s. 33 alh., s. 35 alimmat 2,
s. 36, s. 45 ylin, s. 49, s. 52, s. 56, s. 59 taulukko, s. 61,
s. 63, s. 66, s. 67 alimmat 2, s. 68 alimmat 2, s. 70 alin,
s. 76 kesk., s. 78, s. 80 vas. ja ylh., s. 81, s. 82, s. 83 alim-
mat 2, s. 89, s. 90, s. 91, s. 92, s. 93, s. 94, s. 95, s. 96,
s. 98, s. 100, s. 101, s. 102, s. 104, s. 106, s. 107, s. 108,
s. 109, s. 110, s. 112, s. 114 alh., s. 115, s. 116, s. 117,
s. 118, s. 120, s. 121, s. 122, s. 125, s. 128, s. 129,
s. 131, s. 132, s. 134

Maia Raitanen: s. 9, s. 10, s. 15, s. 21, s. 22, s. 24, s. 32,
s. 33 ylh., s. 38, s. 40, s. 41, s. 42, s. 43, s. 44, s. 46,
s. 47, s. 48, s. 54, s. 57, s. 58, s. 59, s. 60, s. 62, s. 64,
s. 74, s. 75